Aus dem Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und Ländliche Räume

Folkhard Isermeyer (Ed.)

Milchproduktion 2025

Vortragstagung im Forum der FAL am 5. März 2002, gemeinsam veranstaltet von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) und der Gesellschaft der Freunde der FAL

Manuskript, zu finden in www.fal.de

Published as: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 242

Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
2002

Sonderheft 242
Special Issue

Landbauforschung
Völkenrode
FAL Agricultural Research

Milchproduktion 2025

herausgegeben von
Folkhard Isermeyer

Vortragstagung im Forum der FAL am 5. März 2002,
gemeinsam veranstaltet von der
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
und der Gesellschaft der Freunde der FAL

Braunschweig, im September 2002

Inhaltsverzeichnis

	Folkhard Isermeyer
1	**Milchproduktion 2025 – Wo, wie und in welchen Strukturen?**
	G. Jahreis, J. Kraft, O. Möckel
13	**Milch – vom Naturerzeugnis zum Designerprodukt**
	Heiner Niemann
25	**Bio- und Gentechnologie in der Milchproduktion: Projektionen für das Jahr 2025**
	D. Rath
37	**Einsatz von gesextem Sperma in Rinderzuchtprogrammen**
	Gerhard Flachowski, Peter Lebzien, Ulrich Meyer
43	**Steigende Milchleistungen – Kann die Tierernährung Schritt halten?**
	Jürgen Rehage
53	**Steigende Leistungsanforderungen an Milchkühe – Bleibt die Tiergesundheit auf der Strecke?**
	Claus Sommer, Franz-Josef Bockisch
59	**Wie werden Milchkühe 2025 gehalten und gemolken?**
	Gerold Rahmann, Rainer Oppermann, Kerstin Barth
73	**Welche Chancen hat die ökologische Milchviehhaltung?**
	Mary Keough Ledman
83	**The U.S. Milk Industry in 2025 – Executive Summary**
	Torsten Hemme, Johannes Holzner, IFCN-Wissenschaftler weltweit
85	**Wie wettbewerbsfähig ist die deutsche Milchproduktion im internationalen Vergleich**
	Frank Offermann, Werner Kleinhanß, Dirk Manegold
91	**Ausstieg aus dem Milchquotensystem – Wie und mit welchen Folgen?**

Milchproduktion 2025 – Wo, wie und in welchen Strukturen?

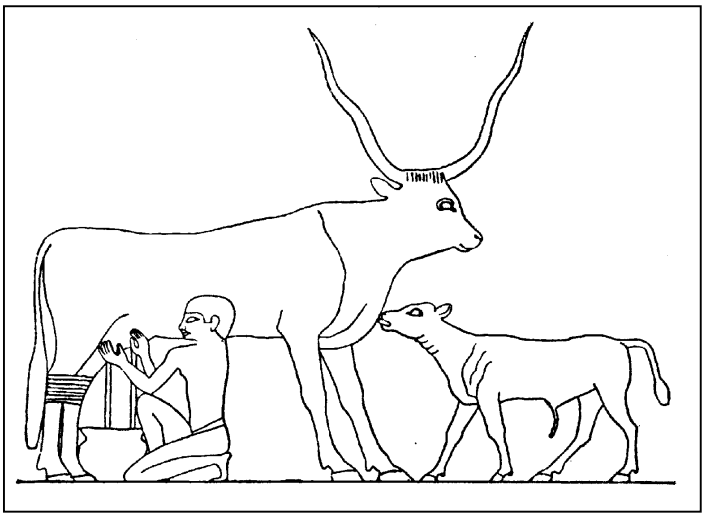
Folkhard Isermeyer*

1 Einleitung

Werden sich die Produktionsstandorte, Produktionsstrukturen und Produktionsverfahren der Milchproduktion im Jahr 2003 wesentlich von denen im Jahr 2002 unterscheiden? Wohl kaum. Für das Jahr 2004 wird die Antwort nicht anders ausfallen.

Andererseits: Wenn wir uns die Entwicklungsdynamik der Milchviehhaltung in langen Zeiträumen vor Augen führen, gewinnen wir den Eindruck, dass wir in einer Phase starker Beschleunigung leben. Zur Veranschaulichung dient Abbildung 1, in dem das Produktionssystem des alten Ägypten bildhaft mit dem Produktionssystem der 50er Jahre verglichen wird. Ohne ins Detail gehen zu wollen: Stellen wir die beiden dargestellten Systeme in einen Vergleich mit der heutigen Praxis moderner Betriebe, so kommen wir zu der Schlussfolgerung, dass sich in den vergangenen fünfzig Jahren mehr verändert hat als in Jahrtausenden zuvor. Einiges spricht dafür, dass die Veränderung der Produktionssysteme in der Zukunft noch schneller vonstatten gehen wird als in den vergangenen Jahrzehnten. Die im vorliegenden Tagungsband zusammengefassten Referate versuchen, dies im Einzelnen auszuleuchten.

Ägypten, um 2400 vor Christus



A trend is a trend is a trend,
but the question is: Will it bend?
Will it alter its course
through some unforeseen force
and come to a premature end?

Deutschland, um 1955

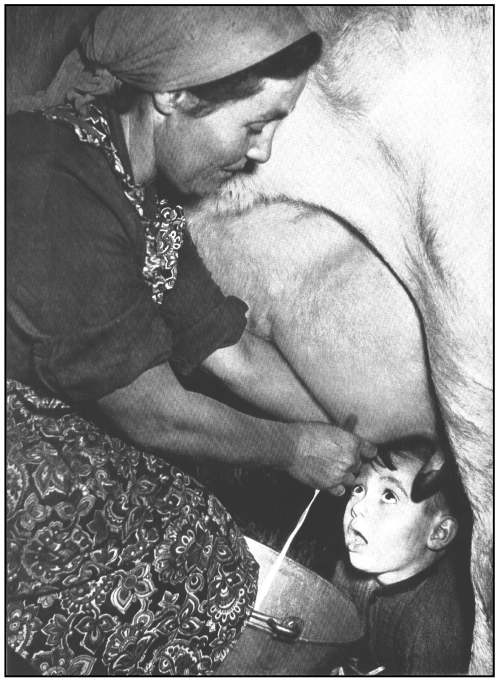


Abbildung 1
Milchviehhaltung im Wandel der Zeit

* Prof. Dr. Folkhard Isermeyer, Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.

Landwirtschaftliche Unternehmer, die ihren Betrieb erfolgreich in die nächste Generation führen wollen, stehen vor der Herausforderung, unter den Standortbedingungen ihres Betriebs eine angemessene Reaktion zu finden. Wer jedes Experiment mitmacht, wird ebenso scheitern wie derjenige, der zu keiner Anpassung bereit ist. Es ist wichtig, dabei die ganze Palette des unternehmerischen Handlungsspektrums im Auge zu behalten. Es geht nicht nur darum, produktionstechnisch „dranzubleiben“, sondern es geht auch um die richtige Einschätzung der Entwicklung der Produktmärkte sowie der Rahmenbedingungen für den eigenen Standort.

Diese umfassende Betrachtung ist gerade in der Milchproduktion, wo Investitionsentscheidungen das Produktionsprogramm und die Betriebsentwicklung für Jahrzehnte festlegen, von großer Bedeutung. Wenn Landwirte vom Tagesgeschäft so stark vereinnahmt werden, dass sie den Kopf nicht mehr für mittel- und langfristige Strategieüberlegungen frei bekommen, dann laufen sie Gefahr, immer nur gerade eben die kurzfristigen Herausforderungen zu bewältigen und sich im Laufe der Zeit in kleinen Schritten in eine Sackgasse „hineinzuoptimieren“.

Aufgabe dieses Beitrages ist es, die Gesamtthematik im Überblick vorzustellen und die wesentlichen Entwicklungslinien thesenartig zu präsentieren. Dies geschieht aus der fachlichen Sicht eines wissenschaftlich tätigen Agrarbetriebswirts. In den folgenden Beiträgen der anderen Autoren dieses Tagungsbandes werden manche Aspekte noch einmal aufgegriffen, dann allerdings vorwiegend aus naturwissenschaftlicher und produktionstechnischer Sicht. Dies kann gegebenenfalls auch zu abweichenden Einschätzungen und Schlussfolgerungen führen.

2 Rahmenbedingungen

Weltmärkte und EU-Märkte

Die Nachfrage nach Milch wird in den kommenden Jahrzehnten voraussichtlich deutlich steigen, ebenso die Nachfrage nach anderen Lebensmitteln tierischer Herkunft. Dieser starke Nachfragezuwachs entfällt allerdings zum weit überwiegenden Teil auf die Entwicklungsländer. Das Bevölkerungswachstum und die steigenden Realeinkommen sind die wichtigsten Triebkräfte. In Tabelle 1 werden die Größenordnungen des Nachfragezuwachses dargestellt. Bemerkenswert: Während der nächsten 20 Jahre wird die Gruppe der Entwicklungsländer bei allen dargestellten Produktgruppen wichtiger für die Weltnachfrage werden als die Gruppe der Industrieländer.

	Verbrauch insgesamt (Mill. t. p. a.)			Pro-Kopf-Verbrauch (kg p. a.)		
	1993		2020	1993		2020
Industrieländer						
Rindfleisch	32	⇒	36	25	⇒	26
Schweinefleisch	36	⇒	41	28	⇒	29
Geflügelfleisch	26	⇒	34	20	⇒	25
Milchprodukte	245	⇒	263	192	⇒	189
Entwicklungsländer						
Rindfleisch	22	⇒	47	5	⇒	7
Schweinefleisch	38	⇒	81	9	⇒	13
Geflügelfleisch	21	⇒	49	5	⇒	8
Milchprodukte	168	⇒	391	40	⇒	62

Quelle: Delgado et al., 2000.

Tabelle 1
Entwicklung der Nachfrage nach Lebensmitteln tierischer Herkunft, 1993-2000

Die Weltmarktpreise für tierische Erzeugnisse werden sich künftig voraussichtlich günstiger entwickeln als in der Vergangenheit (Delgado et al., 1999; FAPRI, 2000). Die Erzeuger in der EU werden davon aber nur teilweise profitieren können. Insbesondere die Erzeuger von Milchprodukten und Rindfleisch werden sich auch weiterhin auf tendenziell sinkende Erzeugerpreise einstellen müssen, weil diese Märkte in der Vergangenheit agrarpolitisch besonders stark geschützt worden sind und dieser Schutz nun im Zuge der fortschreitenden Liberalisierung allmählich abgebaut werden muss. Die politischen Mechanismen der Konsensfindung in der Europäischen Union werden allerdings dafür sorgen, dass dieser Abbau als „Gleitflug“ und nicht als „Sturzflug“ ausgestaltet wird.

Milchquotenregelung

Wird es im Jahr 2025 noch Milchquoten geben? Noch vor kurzer Zeit sprachen ökonomische und politische Trends eindeutig dagegen. Die ökonomische Analyse zeigte, dass im Zuge des Strukturwandels ein immer größerer Teil der Quote Pachtquote wurde und somit die Einkommenswirksamkeit der Milchquotenregelung für die aktiven Landwirte immer mehr abnahm. Es war nur noch eine Frage der Zeit, bis sich vor allem die erfolgreichen Wachstumsbetriebe eindeutig für einen Ausstieg aus dem Quotensystem stark machen würden. Agrarökonomen hatten schon seit langem darauf hingewiesen, dass die Milchquotenregelung sowohl für die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt als auch für die langfristige

Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Milchwirtschaft kontraproduktiv ist (Isermeyer, 1998; Wissenschaftlicher Beirat, 1998). Vor diesem Hintergrund erschien es nur konsequent, dass die Regierungschefs der Europäischen Union im Frühjahr 1999 in Berlin beim Beschluss der Agenda 2000 die Kommission beauftragten, Optionen für die Milchmarktpolitik mit dem Ziel des Ausstiegs aus der Milchquotenregelung zu entwickeln.

Inzwischen scheint sich jedoch das Blatt zu wenden. Diese Wende wurde in Deutschland eingeleitet durch die ebenfalls 1999 beschlossene Einführung der Quotenbörse. In diesem Beschluss wurde gewissermaßen nebenbei festgelegt, dass es keine weitere Zunahme des Quotentransfers auf dem Pachtwege geben kann. FAL-Wissenschaftler hatten damals nachdrücklich darauf hingewiesen, dass dieser (für das Funktionieren der Börse völlig unnötige) Passus die Interessenlage der Milcherzeuger in Bezug auf die Fortführung der Milchquotenregelung grundlegend verändert wird – mit gravierenden agrarpolitischen Langfristfolgen, denn die Meinung der Milcherzeuger ist bekanntlich für die Entscheidung über die Milchmarktpolitik nicht unwichtig. Bei gepachteter Quote führt nämlich ein Ausstieg aus der Quotenregelung dazu, dass der Pächter (d. h. der aktive Milcherzeuger) zwar einen geringeren Milchpreis erzielt, zugleich aber die Pachtzahlung für die Quote einspart. Bei gekaufter Quote muss er ebenfalls die Milchpreissenkung hinnehmen, doch kann er hier keine Pachtzahlung mehr einsparen, denn diese hat er ja schon in Gestalt des Kaufpreises vorfinanziert. Nachdem er den Kaufpreis gezahlt hat, bleibt dem aktiven Milcherzeuger also nichts anders übrig als zu hoffen, dass sich diese Investition möglichst lange durch einen politisch gestützten Milchpreis amortisiert. Fazit: Die Quotenrente fließt im Zuge des Strukturwandels zwar nach wie vor an die „Sofamelker“ ab, aber jeder Landwirt hat nun nach einer Aufstockung seiner Quote das ganz persönliche Interesse, das Quotensystem noch möglichst lange zu erhalten: Hamster im Rad.

Wenn der Einstieg in den Ausstieg aus der Milchquote jetzt nicht gelingt, dann ist auch aus einem anderen Grunde von einem längerfristigen Bestand des Quotensystems auszugehen: Mit der Osterweiterung der EU werden nämlich ab Mitte des laufenden Jahrzehnts die umfangreichen Regelungsmechanismen in zahlreichen Ländern Mittel- und Osteuropas eingeführt werden. Es ist kaum vorstellbar, dass diese Länder, nachdem sie erst einmal die Quotenregelung mit all den zu erwartenden Anfangsschwierigkeiten etabliert ihre Milcherzeuger mit höheren Milchpreisen „verwöhnt“ haben (das „Sofamelkerproblem“ wird dort ja erst mit zeitlicher Verzögerung fühlbar), leichten Herzens einem Ausstieg aus der Quotenregelung zustimmen werden. Auch auf diesen Zusammenhang hatten wir vor zwei Jahren deutlich hingewiesen.

Sollte diese Einschätzung zutreffen, dann kann der entscheidende Impuls für einen mittelfristigen Ausstieg aus der Quotenregelung eigentlich nur von außerhalb kommen. Entweder steigen die Weltmilchpreise so stark, dass die Quote in der EU ihre Funktion verliert, oder in den WTO-Verhandlungen wird eine so starke Liberalisierung des Außenschutzes vereinbart (mehr zollfreie Importe, weniger gestützte Exporte), dass die Milchpreise innerhalb der EU auf das Weltmarktpreisniveau fallen. Die erste Option ist weniger wahrscheinlich als die zweite. Für die Unternehmer verbleibt nach alledem eine erhebliche Verunsicherung über den künftig zu erwartenden Weg, mit allen negativen Auswirkungen auf Investitionsbereitschaft, Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit.

Umwelt- und Tierschutzauflagen

Tierproduzenten in Mitteleuropa werden auch künftig mit hohen Auflagen konfrontiert werden. Mit einer deutlichen Deregulierung kann nicht gerechnet werden. Daran werden auch veränderte politische Mehrheitsverhältnisse in dem einen oder anderen Mitgliedstaat der EU nur wenig ändern können. Eine weltweite Angleichung der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Tierhaltung ist vollkommen illusorisch. Für die EU gibt es auch keine handelspolitische Handhabe, um z. B. mit geringeren Tierschutzstandards erzeugte Lebensmittel außer Landes zu halten.

Die Verbraucher in der EU werden ihr Kaufverhalten auch künftig überwiegend am Preis orientieren. Die Mehrzahl der Verbraucher setzt voraus, dass die „normalen“ Nahrungsmittel sicher sind, und vertraut darauf, dass die Regierung dies im Großen und Ganzen durch die einschlägigen Bestimmungen sicherstellt. Nur ein relativ kleiner Teil der Verbraucher dokumentiert durch sein Kaufverhalten eine nachhaltig erhöhte Zahlungsbereitschaft für Produkte aus ökologischem Landbau.

Wenn auf der einen Seite die kostenträchtigen Auflagen steigen und auf der anderen Seite keine erhöhten Verbraucherpreise durchzusetzen sind, droht eine Abwanderung der Produktion. Die einzige Lösung, dies zu verhindern, liegt im „Ein-

kauf“ der gesellschaftlich erwünschten Produktionssysteme durch den Staat. Solche gezielten Subventionen für bestimmte Produktionsformen sind in der zweiten Säule der EU-Agrarpolitik vorgesehen. Eine nennenswerte Aufstockung dieses Politikbereichs könnte deshalb wesentlich zur Stabilisierung der Milchviehhaltung in der EU beitragen. Ob diese Entwicklung tatsächlich eintritt und der Tierschutz in einem nennenswerten Umfang in die zweite Säule einbezogen wird, lässt sich gegenwärtig kaum verlässlich vorhersagen. Die Erfahrung lehrt, dass die praktische Politik zu derart radikalen Kurskorrekturen nur in längeren Zeiträumen fähig ist, weil die Beseitigung von Besitzständen (hier: Ackerflächenprämien) und die Überwindung selbst-geschaffener politischer Hürden (hier: unterschiedliche Kofinanzierung der ersten und zweiten Säule) viel Zeit und politisches Geschick erfordert (Isermeyer, 2001a).

Fazit

Diese Wirkungslinien führen zusammengenommen zu der Einschätzung, dass die Rahmenbedingungen für Milchviehhalter in Mitteleuropa schwierig bleiben: Die Preise geraten bei Milchprodukten und Rindfleisch weiter unter Druck, Milchquotenregelung und Politikunsicherheit beeinträchtigen die Orientierung der Unternehmer am Markt, kostenträchtige Auflagen setzen ihnen ebenfalls zu, und die Bezahlung gesellschaftlicher Leistungen über die zweite Säule kommt nur langsam voran.

3 Produktionsstandorte

Entwicklungen im Weltmaßstab

Die gegenwärtige Verteilung der Weltmilchproduktion wird in Abbildung 2 dargestellt. Die Größe des Punkts bringt den Umfang der Produktion am jeweiligen Standort zum Ausdruck. Die drei größte Produktionsregionen sind die EU (126 Mio. t), Indien (82 Mio. t) und die USA (76 Mio. t). Innerhalb der EU ist Deutschland mit 28 Mio. t. der größte Erzeuger. Im Zuge der Osterweiterung wird die Produktion der EU noch einmal um ca. 29 Mio. t anwachsen. Gemessen an diesen Größenordnungen fällt die gegenwärtige Produktionsmenge an den kostengünstigen Produktionsstandorten der Südhemisphäre (Neuseeland, Australien, Argentinien) mit jeweils 10 bis 12 Mio. t relativ gering aus.

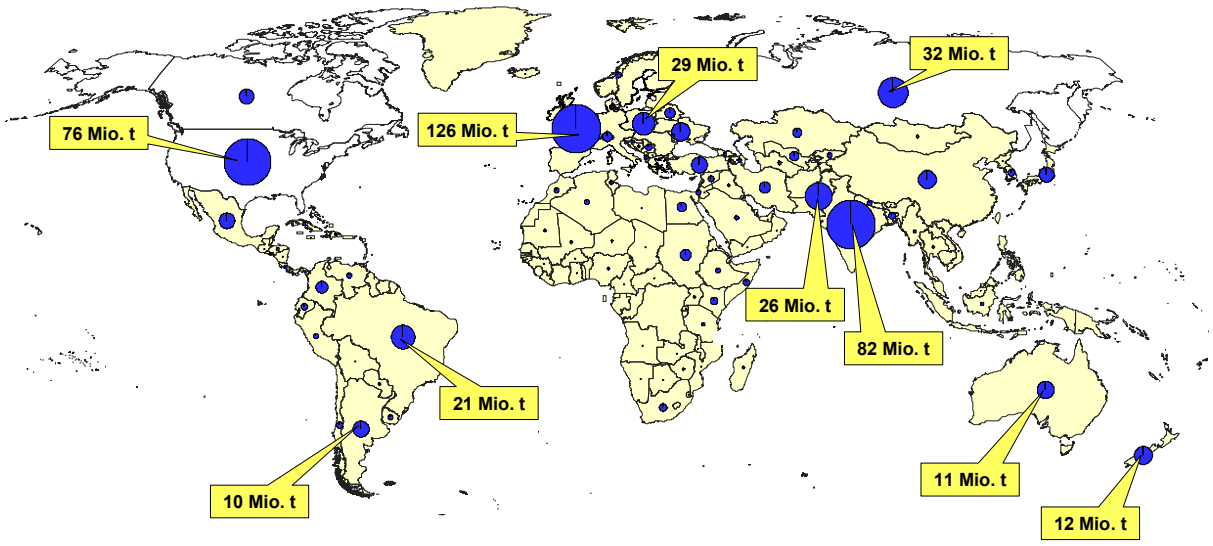


Abbildung 2
Regionale Verteilung der Milchproduktion im Jahr 2000

Für die Zukunft erwarten die Experten keine abrupten Veränderungen der Produktionsanteile, aber markante graduelle Verschiebungen (Isermeyer, 2001b).

Der stärkste Zuwachs wird an jenen Standorten stattfinden, an denen auch die Nachfrage am stärksten wächst. Dieses sind vor allem Standorte in Süd- und Ostasien sowie in Mittel- und Südamerika. Ursache hierfür sind zum einen Produktionskostenvorteile an einigen der genannten Standorte, zum anderen Transportkostenvorteile und Vermarktungskostenvorteile jener Standorte, die dicht am Standort des Verbrauchszuwachs liegen.

Insbesondere in einigen asiatischen Ländern reicht die Ausstattung mit natürlichen Ressourcen aber nicht aus, um die stark zunehmende Nachfrage nach Milchprodukten komplett bedienen zu können. Nicht zuletzt deshalb wird eine weitere Zunahme des internationalen Handels mit Milch und Molkereiprodukten erwartet. Hier stellt sich die Frage, welche Exportregionen von dieser zusätzlichen Nachfrage vor allem profitieren werden.

Die größten Chancen auf eine nachhaltige Steigerung ihrer Weltmarktanteile haben jene Standorte, in denen die natürlichen Bedingungen eine sehr kostengünstige Milchviehhaltung ermöglichen. Milde Winter erlauben es Landwirten in Neuseeland, Australien und in Teilen Südamerikas, ihre Kühe ganzjährig auf der Weide zu lassen. Das führt zu erheblichen Kostenvorteilen, weil keine Ställe gebaut werden müssen und die mit der Stallhaltung assoziierten Kosten (Fütterung, Einstreu, Stroh- bzw. Güllelagerung und -ausbringung) gering gehalten werden können. Der Beitrag von Hemme im vorliegenden Band zeigt, wie groß das Ausmaß der hierdurch verursachten Kostenvorteile ist.

Die Expansionspotenziale Neuseelands und Australiens sind jedoch durch die geringe Ausstattung mit fruchtbaren Agrarflächen relativ eng begrenzt. Argentinien kennt diese engen Grenzen nicht, doch führt hier die katastrophale politische und gesamtwirtschaftliche Situation dazu, dass der erforderliche Zustrom an internationalem Kapital gering bleibt.

Je schwächer die Entwicklung in Südamerika ausfällt, desto größer wird die Chance, dass mittelfristig auch die Milcherzeuger in den USA von den wachsenden Weltmarktpotenzialen profitieren. Gegenwärtig können sie dies noch nicht, denn ihr Preisniveau ist ebenso wie das der EU durch handelspolitische Maßnahmen vom Weltmarkt abgehoben, und die WTO setzt der früheren Praxis, Exporte durch Einsatz von Steuermitteln auf das Weltmarktpreisniveau herunterzuschleusen, immer stärkere Grenzen. Wenn aber die Weltmarktpreise steigen und die USA ihre Inlandspreise weiter senken, dann eröffnen sich neue Perspektiven. Im Vergleich zu den EU-Landwirten verfügen die US-Erzeuger zwar weder über günstigere natürliche Bedingungen noch über nennenswerte Lohnkostenvorteile, doch profitieren sie von günstigeren agrarstrukturellen Bedingungen, von einem leichteren Zugang zu neuen Technologien (z. B. BST) und vor allem von einer - aus Unternehmersicht - überzeugenderen agrarpolitischen Linie (keine Milchquoten).

Bei dieser Diskussion über die Wettbewerbsfähigkeit im globalen Kontext wurde die Frage der Transportkosten zunächst ausgeklammert. Dies reflektiert die gegenwärtige Bedeutung der Transportkosten für die internationale Wettbewerbsfähigkeit verschiedener Standorte. Zurzeit kostet der Transport haltbarer Milchprodukte (Butter, Käse, Milchpulver etc.) um den halben Globus - bezogen auf die Tonne Milch - nur ca. 25 US-$, während die klimatisch bedingten Kostenunterschiede in der Milchproduktion zwischen den Gunststandorten der Südhalbkugel und Mitteleuropa in der Größenordnung von 100 US-$ liegen. Die Bedeutung der Transportkosten ist also gering. Ganz anders sind natürlich die Verhältnisse im Bereich der frischen Molkereiprodukte (Frischmilch, Joghurt, etc.) zu beurteilen, weil hier viel Wasser transportiert werden muss und die Verderblichkeit der Produkte eine größere Rolle spielt. Bei diesen Produkten ist die Nähe zu den Verbrauchszentren in der Tat ein ganz wesentlicher Standortvorteil. Doch liegt der Anteil dieses Marktsegments am gesamten Milchmarkt z. B. in der EU nur bei ungefähr einem Drittel. Ob die internationalen Transportkosten bis zum Jahr 2025 eine größere Bedeutung erhalten, bleibt abzuwarten. Bisher gibt es hierfür keine Anzeichen.

Entwicklungen innerhalb Europas

Innerhalb der Europäischen Union sind die Beitrittsländer Mittel- und Osteuropas als besonders interessante Regionen für Investitionen in die Milchviehhaltung anzusehen, weil dort in großem Umfang relativ gut strukturierte Agrarflächen zur Verfügung stehen und ein relativ niedriges Lohnniveau herrscht. International vergleichende Analysen zeigen, dass die Nutztierhaltung hier besonders kostengünstig zu gestalten ist.

Defizite liegen zweifellos im Verarbeitungs- und Vermarktungsbereich. Da Kapital und Technologie aber international mobil sind, sollte die kostengünstige Installation moderner Verarbeitungs- und Distributionsanlagen grundsätzlich kein Problem darstellen. Wie schnell das internationale

Kapital hereinfließt, hängt in erster Linie davon ab, wie gut es den Ländern gelingt, für stabile volkswirtschaftliche und politische Verhältnisse zu sorgen.

So gesehen ist der EU-Beitritt dieser Länder die wichtigste Voraussetzung zur Verbesserung ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit, auch in der Milchviehhaltung. Da aber mit dem Beitritt zur EU voraussichtlich auch die Milchquotenregelung eingeführt wird, wird den Agrarsektoren gleich wieder die Möglichkeit genommen, die verbesserte Wettbewerbsfähigkeit in steigende Marktanteile umzumünzen.

Entwicklungen innerhalb Deutschlands

Welche regionalen Marktanteilsverschiebungen innerhalb Deutschlands stattfinden werden, hängt natürlich auch in erster Linie von der Fortexistenz und der Ausgestaltung der Milchquotenregelung ab. Nach den Erfahrungen der Vergangenheit ist nicht zu erwarten, dass die Politik im Rahmen des Milchquotensystems eine Handelbarkeit von Quoten über Ländergrenzen zulassen wird. Innerhalb der Bundesländer wird allerdings die regionale Konzentration voranschreiten, d. h. die Produktionsanteile wandern dorthin, wo bereits eine relativ hohe Konzentration herrscht. Hauptursache hierfür sind Agglomerationsvorteile in verschiedenen Bereichen (Erfassungskosten, Spezialberater, Tierärzte, Futtermittelhändler, etc.).

Sollte es irgendwann doch zur Abschaffung der Milchquotenregelung kommen, so ist zum einen eine verstärkte Wanderung der Produktion zu den bereits jetzt bestehenden Milchviehzentren zu erwarten, zum anderen eine verstärkte Wanderung in jene Regionen, die günstige Rahmenbedingungen für betriebliche Wachstumssprünge bieten. Zum mit Abstand wichtigsten Standortfaktor wird die Politik, genauer: Die Fähigkeit der Länder und der Kommunen, in einem schwierigen gesellschaftlichen Umfeld geeignete Investitionsstandorte für Milcherzeuger zu schaffen. Die Investoren von übermorgen benötigen Standorte, an denen sie betriebswirtschaftlich rentable Betriebsgrößen realisieren können (s. u.) und an denen keine Konflikte mit Nachbarn (Einzelhoflage) oder mit dem Naturschutz zu erwarten sind. Die oft diskutierte Frage, ob es die Kühe eher auf die Grünland- oder auf die Ackerstandorte ziehen wird, ist demgegenüber nachrangig (Isermeyer, 2001b).

4 Produktionsstrukturen und Produktionstechnik

Bestehende Produktionsstätten vs. Vorranggebiete für die Tierhaltung

Im Jahr 2025 werden die meisten Milchviehställe auf Höfen stehen, auf denen auch heute schon Milchkühe gehalten werden. Die Betriebe werden aber wesentlich mehr Kühe halten als heute. Die für das Bestandsgrößenwachstum erforderlichen Ställe werden in Nachbarschaft zu den bereits bestehenden Ställen gebaut.

Für diese starke Pfadabhängigkeit gibt es vor allem zwei Gründe. Zum einen ist es betriebswirtschaftlich vorteilhaft, (a) alte Ställe noch mit zu nutzen, solange sie gewissen Mindestanforderungen genügen, und (b) neue Ställe in die Nähe der alten Ställe zu bauen, um Synergieeffekte zu nutzen. Zum anderen ist es sehr schwierig, an noch unbebauten Standorten die Genehmigung für den Neubau einer Milchviehanlage zu erhalten, die eine betriebswirtschaftlich optimale Größe aufweist.

Viele Hofstellen, insbesondere in Haufendörfern, werden jedoch Erweiterungsinvestitionen in dem betriebswirtschaftlich erforderlichen Ausmaß gar nicht mehr zulassen, weil die gesamte Bebauung viel zu eng ist. Hier stellt sich dann die Frage, ob eine Aussiedlung zugelassen wird und, wenn ja, zu welchen Bedingungen. Je restriktiver die Aussiedlung von Betrieben in einer Region gehandhabt wird, desto eher wird die Milchviehhaltung vollständig abwandern.

Einige Regionen werden in dieser Entwicklung eine Chance erkennen und durch Ausweisung von Vorranggebieten für Tierhaltungsbetriebe Investoren anlocken, um neue Arbeitsplätze zu schaffen (Becker, 1999). Die Milchviehhaltung wird insgesamt mobiler werden. Weitsichtige Unternehmer aus verschiedenen Branchen (Milch, Rindfleisch, Veredlung) werden um die wenigen Standorte konkurrieren, die als nachhaltig „konfliktfrei“ zu klassifizieren sind. Diese Entwicklung lässt sich heute schon in den USA beobachten (Isermeyer, 2001b).

Entwicklung der Bestandsgrößen

Die in Bauernversammlungen stets am heftigsten diskutierte Frage ist die nach der Entwicklung der Bestandsgrößen in der Milchviehhaltung. Bei der Beantwortung dieser Frage kann man es sich einfach machen: Auch im Jahr 2025 wird es ein Nebeneinander von ganz unterschiedlichen Bestandsgrößen geben, und das Spektrum wird – wie bereits heute – von „eins“ bis „mehrere tausend“

reichen. Ursache für dieses Nebeneinander verschiedener Bestandsgrößen sind zum einen historische Entwicklungen, zum anderen ist es der Umstand, dass für die betriebswirtschaftliche optimale Betriebsgröße neben technologischen Entwicklungen auch menschliche Eigenschaften (Präferenzen, Fähigkeiten) ausschlaggebend sind. Die Vielfalt der Menschen führt letztlich zur Vielfalt der Betriebsgrößen (Isermeyer, 1993).

Schwieriger zu beantworten ist die Frage, wie groß im Jahr 2025 jene Milchviehbetriebe sein werden, die dann immer noch wachsen und die weitere Zukunft bestimmen. Die Antwort auf diese Frage hängt ganz wesentlich von technologischen und politischen Entwicklungen ab.

- Bei den technologischen Entwicklungen ist vor allem die Frage von Bedeutung, ob vollautomatische Melksysteme (AMS) uneingeschränkt praxisreif werden. In diesem Fall werden nämlich die Melkmaschinenhersteller in die Produktion größerer Stückzahlen einsteigen. Die Kosten der Melkroboter werden dann deutlich sinken, und die Technologie wird in den Laufstallbetrieben zum Stand der Technik. Die Produktionskosten in der Milchviehhaltung werden sinken, und die Kostenvorteile werden letztlich über sinkende Milchpreise an die Verbraucher weitergegeben. Dieses ist die klassische Wirkung technischer Fortschritte in einer Marktwirtschaft.
- Unterschiedliche Auffassungen gibt es zu der Frage, wer mit der neuen Technologie im Rennen verbleibt und wer ausscheiden muss, weil er die Technologie nicht gewinnbringend einsetzen kann. Auf der einen Seite steht außer Frage, dass die AMS-Technologie, nachdem alle Kinderkrankheiten bewältigt sind, das Produktionspotenzial der Familienbetriebe beträchtlich erweitert und daher in dieser Betriebsgruppe mittelfristig bedeutsame Wachstumsschübe auslösen wird. Auf der anderen Seite wird die neue Technologie aber auch den arbeitsteilig wirtschaftenden Großbetrieben helfen, die Zahl der für das Melken erforderlichen Personen deutlich zu reduzieren und damit ihre Nachwuchs-, Motivations- und Koordinationsprobleme besser in den Griff zu bekommen. Welche dieser beiden Wirkungen überwiegt, ist offen.
- Angesichts der durch AMS entstehenden Produktivitätspotenziale ist zu erwarten, dass die Zahl der von einer Person betreuten Milchkühe in den Wachstumsbetrieben des Jahres 2025 deutlich oberhalb von 100 liegen wird. Geht man davon aus, dass der Trend zum „erweiterten Familienbetrieb“ (Isermeyer, 1993) und zur betrieblichen Spezialisierung anhält, dann sind die Wachstumsbetriebe des Jahres 2025 spezialisierte Milchviehbetriebe mit AMS-Technologie, drei bis vier Arbeitskräften und einer Bestandsgröße von 500 Milchkühen und mehr.
- Diese Unternehmen werden ihren Tierbestand nicht zwangsläufig auf nur einer Hofstelle halten. Gerade in solchen Regionen, in denen große Bauprojekte nur schwer umzusetzen sind und/oder viele Boxenlaufställe aus nicht mehr fortgeführten Familienbetrieben vorhanden sind, bietet die AMS-Technologie eine interessante Variante: Die Unternehmen können Boxenlaufställe aus umliegenden Dörfern mitnutzen, indem sie diese mit AMS-Geräten ausrüsten und mit dem Futtermischwagen täglich anfahren, um (a) zu füttern und (b) die Bestände zu kontrollieren.
- Bei den politischen Entwicklungen ist vor allem die Frage von Bedeutung, ob und in welchem Maße Großbetriebe von der Agrarpolitik künftig gezielt benachteiligt werden. Hier sind vor allem zwei Politikfelder zu betrachten, zum einen die Milchquotenregelung und zum anderen das System der direkten Einkommenstransfers. Das Milchquotensystem kann, wie ein Blick in andere Mitgliedstaaten der EU zeigt, die Agrarpolitiker durchaus dazu verleiten, gravierende Manipulationen zugunsten kleinerer Betriebe in die Regelungen einzubauen. Für die direkten Einkommenstransfers, die gemäß Agenda 2000 auch für die Milchviehhaltung an Bedeutung gewinnen werden, hat die EU-Kommission in ihrer jüngst vorgelegten Halbzeitbewertung eine sehr rigide Kappungsgrenze vorgeschlagen. Solange die agrarpolitische Stützung der Landwirtschaft nicht reduziert wird, ist es fast zwangsläufig, dass betriebsgrößenbezogene Modifikationen immer wieder ins Gespräch gebracht werden. Wann und wie dies genau geschehen wird, ist für die Unternehmer praktisch nicht vorhersehbar.
- Die Erfahrung lehrt, dass sich die Unternehmer solchen Regelungen in den meisten Fällen durch formale Betriebsteilungen und ähnliche Anpassungsmaßnahmen anpassen, d. h. der Betriebsgrößen-Strukturwandel schreitet in der Realität fort, und die politisch gewünschte Konservierung der traditionellen Agrarstruktur geschieht im Wesentlichen nur „auf dem Papier“. Es ist also gut möglich, dass man im Jahr 2025 zwei verschiedene Statistiken heranziehen muss, um die Betriebsgrößenstruktur zu beschreiben, zum einen die offizielle und zum anderen die zutreffende.

Fazit: Automatische Melksysteme können dazu führen, dass das Betriebsgrößenwachstum deutlich schneller voranschreitet als in der Vergangenheit. Es ist nicht auszuschließen, dass die Politik durch eine Bevorzugung kleiner Betriebe gegenzusteuern versucht. Die tatsächliche Wirkung solcher Versuche wird jedoch gering sein.

Spezialisierung der Unternehmen

Die zunehmende Spezialisierung der landwirtschaftlichen Unternehmen und Standorte wird wahrscheinlich auch dazu führen, dass sich die Milchviehhalter stärker auf das Kerngeschäft „Milch“ konzentrieren und traditionelle Geschäftsfelder, die sich relativ einfach abtrennen lassen, an andere Unternehmen abgeben.

- Die Auslagerung der Jungviehaufzucht in Spezialbetriebe wird um so lukrativer, je stärker die Milchviehbetriebe an ihrem Standort an Wachstumsgrenzen stoßen. Sie können durch die Auslagerung ihre Milchviehherde weiter vergrößern und damit ihre Gebäude und Anlagen besser auslasten, während sich an einem anderen Standort Strukturen herausbilden können, die für die Jungviehaufzucht besonders kostengünstig sind.
- Die Auslagerung des Futterbaus kann in verschiedenen Formen organisiert werden, beispielsweise als „Flächenverpachtung und Futterzukauf“ oder als „Bewirtschaftungsvertrag“. In jedem Fall geht es darum, die Flächenbewirtschaftung in die Hände eines spezialisierten Ackerbaubetriebs zu geben, der diese Aufgabe aufgrund seiner Spezialisierung und seiner Betriebsgröße kostengünstiger erledigen kann als der Milchviehbetrieb.

Das klassische Konzept eines landwirtschaftlichen Betriebs wird im Zuge des organisatorisch-technischen Fortschritts immer mehr verschwimmen. Früher leitete sich z. B. für einen Milchviehbetrieb aus der Zahl der ererbten Hektare relativ stringent die Anzahl der Milchkühe, daraus wiederum die Anzahl der Färsen und Kälber, aus der Gesamtzahl dann wiederum die Zusammensetzung der Futterfläche und daraus der Maschinenbesatz ab. Künftig werden die Landwirte für jedes Element des Produktionsprozesses untersuchen, ob sie dieses selber erledigen, für andere mit erledigen oder durch andere mit erledigen lassen sollen. Beispiele sind Futterernte durch den Lohnunternehmer, Schleppernutzung gemeinsam mit dem Nachbarn, Färsenaufzucht in einer Extensivregion, Zucht in Spezialunternehmen, Einkaufsgemeinschaften, Betreuungsverträge mit Tierärzten.

Dokumentation und Zertifizierung

Je enger der landwirtschaftliche Betrieb in die gesellschaftliche Arbeitsteilung einbezogen wird, desto wichtiger wird die sorgfältige Dokumentation aller Tätigkeiten einschließlich der Käufe und Verkäufe. Qualitätssicherungssysteme mit umfassenden Aufzeichnungspflichten in allen Stufen der Lebensmittelkette und ausgeklügelten Haftungsregeln werden im Jahr 2025 zum Standard der Milchwirtschaft gehören. Unklar ist allerdings aus heutiger Sicht die Frage, wie die Aufgabenverteilung zwischen Staat und Wirtschaft in diesen Systemen im Endeffekt gestaltet werden wird. Hier stehen noch spannende Diskussionen bevor.

Klarer abzusehen ist heute bereits, dass Staat und Wirtschaft die Standardisierung der landwirtschaftlichen Produktionsprozesse vorantreiben werden. Landwirte benötigen eine „Lizenz zum Produzieren“, sei es, dass der Staat dies vorschreibt, oder sei es, dass die nachgelagerten Stufen nur noch Produkte aus zertifizierten landwirtschaftlichen Unternehmen abnehmen werden. Zertifikate werden von den hierzu befugten Instanzen nur an solche Betriebe vergeben, die bestimmte Auflagen bezüglich der Lebensmittelsicherheit, des Tierschutzes und des Umweltschutzes erfüllen. Neue Anlagen werden nur genehmigt, wenn sie von vornherein auf die jeweils beste verfügbare Technik hin ausgerichtet sind.

Wirkungen der Informationstechnologie

Die Fortschritte in der Informationstechnologie werden diese Entwicklung unterstützen, indem die Daten von den Erfassungspunkten (Maschinen, Futtersilos, Wetterstationen, Milchtank, Tiere, Veterinärbefunde, etc.) direkt an das betriebliche Kontrollzentrum geleitet und dort im Rahmen integrierter Systeme ausgewertet werden. Die Daten werden über das Controlling hinaus in zunehmendem Maße auch für die unmittelbare Prozesssteuerung bzw. für die Assistenz des Landwirts bei der Prozesssteuerung verwendet werden.

Einiges spricht dafür, dass sich die ganzjährige Stallhaltung für diese Entwicklung besser eignet als die Milchviehhaltung mit Weidegang. Auch die Einführung des vollautomatischen Melkens und das Wachstum der Tierbestände deuten in diese Richtung. Ein gewisses Gegengewicht entsteht jedoch dadurch, dass Weidehaltung in den Augen der Bevölkerung unter dem Aspekt „Wohlbefinden der Tiere“ positiv belegt ist. Inwieweit dies dazu führen wird, dass die Weidehaltung durch Auflagen vorgeschrieben wird oder im Rahmen der zweiten

Säule der Agrarpolitik finanziell belohnt wird, lässt sich derzeit nur schwer vorhersagen.

Die Fortschritte in der Informationstechnologie eröffnen auch die Möglichkeit, den Futterbau produktiver und umweltschonender zu gestalten als bisher. Es ist zu erwarten, dass die teilflächenspezifische Bewirtschaftung mit Hilfe der GPS-Systeme kontinuierlich weiter an Bedeutung gewinnen wird. Durch die gezieltere Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln werden Produktionskosten gespart und Umweltrisiken weiter reduziert. Darüber hinaus eröffnet die GPS-Technologie prinzipiell auch die Möglichkeit zu einem grundlegenden Paradigmenwechsel beim Landmaschineneinsatz. In der Vergangenheit wurden immer größere Maschinen eingesetzt, weil dadurch die Produktivität der teuren Arbeitskräfte gesteigert werden konnte. Die GPS-Technologie bietet nun die Chance, dass eine Arbeitskraft anstelle eines Großgeräts mehrere Kleingeräte führt bzw. kontrolliert. Ob dieser Technologiesprung bis zum Jahr 2025 praxisreif sein wird und welche strukturellen Wirkungen er dann haben wird, lässt sich derzeit allerdings noch nicht absehen.

Wirkungen der Gentechnik

Die stürmische Entwicklung der Biotechnologie wird ebenfalls erhebliche Auswirkungen auf die künftige Struktur der Milchviehhaltung haben. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Gentechnik im Jahr 2025 in allen Bereichen der Milcherzeugung eine Rolle spielt, d. h. im Futterbau, in der Tierzucht, in der Produktverarbeitung und in der Reststoffverarbeitung. Da es im weltweiten Praxiseinsatz mit gentechnisch veränderten Organismen (GVO) innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte sicher auch negative Überraschungen und „Unfälle“ geben wird, wird die gesellschaftliche Diskussion über die Risiken der Gentechnik auch im Jahr 2025 noch ein wichtiges Thema sein. Im Unterschied zur Diskussion über die Atomenergie wird es dann aber weniger um die Frage gehen, ob die Technologie überhaupt eingesetzt werden soll oder nicht (sie ist ja bereits heute weit verbreitet), sondern eher um die Frage, wie ihr Einsatz im globalen Maßstab vernünftig gelenkt werden kann. Hier liegt eine gewaltige Zukunftsaufgabe für die öffentlich finanzierte Forschung, die dieser Herausforderung mit den gegenwärtigen Forschungsstrukturen nicht gerecht werden kann.

Es wird auch im Jahr 2025 Verbraucher geben, die „gentechnikfreie“ Nahrungsmittel kaufen wollen und bereit sind, dafür einen erhöhten Preis zu zahlen. Es ist jedoch zu bezweifeln, dass sich drei Segmente parallel entwickeln: Ökologischer Landbau, konventioneller Landbau ohne Gentechnik, konventioneller Landbau mit Gentechnik. Wahrscheinlicher ist es, dass sich die große Mehrheit der Verbraucher mit der Existenz der grünen Gentechnik arrangiert und dass jene Verbraucher, die dies nicht wollen, Produkte aus dem ökologischen Landbau kaufen. Der Erhalt eines Zwischensegments („konventionell ohne Gentechnik“) ist auf die Dauer sehr teuer, und es ist unwahrscheinlich, dass sich eine Käuferschicht findet, die dieses Segment mit ihrer Kaufentscheidung auf Dauer finanziert. Die Politik wird schon mit der Teilaufgabe, tragfähige gesetzlichen Rahmenbedingungen für das Minimalziel „Koexistenz von ökologischem Landbau und Gentechnik-Landwirtschaft“ zu schaffen, alle Hände voll zu tun haben.

Entwicklungen in der Tierzucht

In der Tierzucht werden die maschinelle Sortierung des Spermas nach dem Geschlecht („Sexing“), aber auch die In-vitro-Befruchtung und andere Entwicklungen zu einer starken Beschleunigung des züchterischen Fortschritts führen (siehe die Beiträge von Rath und Niemann in diesem Band). Der beschleunigte Zuchtfortschritt eröffnet die Möglichkeit zu einer weiteren Steigerung der Milchleistung. Es wird dann aber immer schwieriger, die Milchkühe ihrem genetischen Potenzial entsprechend zu halten und zu füttern. Gelingt dies den Tierhaltern nicht, dann erleiden die Tiere gesundheitliche und die Betriebe finanzielle Schäden. Vor diesem Hintergrund ist zu erwarten, dass neben der Milchleistung andere Zuchtziele an Bedeutung gewinnen werden. Eine offene Frage ist, ob die Gesellschaft die Entscheidungen über die Zucht weiterhin ausschließlich den Landwirten überlässt oder ob sich der Gesetzgeber hier einschaltet. Eine denkbare Entwicklungslinie besteht darin, das Zusammenspiel zwischen Tierärzten und Landwirten weiterzuentwickeln und hierdurch zu einer integrierten Bestandsbetreuung zu kommen, die Fragen der Zuchtwahl ebenso einschließt wie Fragen der Tierernährung und der Tierhaltung.

Die Fortschritte in der Biotechnologie werden auch starke Auswirkungen auf die Organisationsstrukturen der Tierzucht haben. Der Wettbewerb zwischen den Zuchtorganisationen wird infolge der neuen Technologien eine andere Qualität erhalten. Die Zuchtorganisationen werden erhebliche Anstrengungen unternehmen müssen, um eine schlagkräftige Infrastruktur aufzubauen, die eine Nutzbarmachung der neuen Technologien für das jewei-

lige Zuchtprogramm überhaupt ermöglicht (Simianer und Grandke, 1998).

Auf der Ebene der landwirtschaftlichen Betriebe ermöglicht das Spermasexing eine weitergehende Ausdifferenzierung in (wenige) Zuchtbetriebe auf der einen Seite und (viele) Milcherzeugungsbetriebe auf der anderen Seite. Die Zuchtbetriebe werden – abgesehen von vertraglich vereinbarten Anpaarungen zur Erzeugung von Zuchtbullen – vorwiegend weibliche Kälber erzeugen, aus denen später Zuchtfärsen zur eigenen Remontierung und zum Verkauf werden. Die Milcherzeugungsbetriebe werden nur einen Teil ihrer Milchviehherde mit Milchrassen besamen, um gezielt Kuhkälber für die Remontierung zu erzeugen, und den anderen Teil mit Fleischrassen, um gezielt Bullenkälber für die Rindermast zu erzeugen. Ein immer größerer Teil dieser Bullenkälber wird nicht in den Milchviehbetrieben ausgemästet, sondern an spezialisierte Mastbetriebe verkauft.

Milch für die pharmazeutische Industrie

Während die bisher genannten biotechnologischen Fortschritte im Bereich der landwirtschaftlichen Urproduktion im Wesentlichen zu einer Beschleunigung der bereits bekannten Entwicklungstendenzen führen werden, deuten sich in der langfristigen Perspektive auch biotechnologische Fortschritte an, die eine grundlegende Umwälzung des Produktionssystems bewirken können. Die Gentechnologie hat die Möglichkeit geschaffen, die Milchdrüsen von Kühen, Schafen oder Ziegen als „Bioreaktor“ für die Erzeugung von Proteinen zu nutzen. Diese Proteine sind Grundstoffe von Medikamenten, die für die Humanmedizin eine große Bedeutung haben (Niemann, 1998). Bis diese neuartigen Produktlinien eine nennenswerte Bedeutung für das praktische Wirtschaftsleben erlangen, dürften allerdings noch viele Jahre vergehen.

Eine Abschätzung des langfristig zu erwartenden Verbreitungsgrades solcher transgenen Tiere ist zur Zeit nicht möglich, zum einen, weil offene Fragen hinsichtlich der künftigen rechtlichen Regelungen bestehen, zum anderen, weil das Marktpotenzial nur sehr schwer einzuschätzen ist. Zur Zeit gehen die Experten davon aus, dass nur wenige Herden benötigt werden, um den Bedarf eines Landes an lebensrettenden Grundstoffen für die Biomedizin zu decken. Andererseits kann derzeit niemand vorhersagen, wie sich die kaufkräftige Nachfrage „jenseits der Notfallmedizin“ entwickeln wird. Die neue Technologie eröffnet die Möglichkeit, in der ferneren Zukunft praktisch alle Grundstoffe für die hormonelle Steuerung der Körperfunktionen relativ kostengünstig zu erzeugen. Da hier zentrale Bedürfnisse aller Menschen angesprochen werden (vor allem die „ewige Jugend“), erscheint es nicht ausgeschlossen, dass die Landwirtschaft eines Tages eine sehr breite Palette von Grundstoffen für die pharmazeutische Industrie erzeugen wird. Gleichwohl wird die insgesamt in diesem Segment verarbeitete Milchmenge relativ gering bleiben. Es liegt auf der Hand, dass Produktionsketten, an deren Ende Unternehmen der pharmazeutischen Industrie stehen, nur im Rahmen einer sehr straff organisierten Vertragslandwirtschaft erfolgreich aufgebaut werden können.

Strukturwandel in der Molkereiwirtschaft

In der klassischen milchverarbeitenden Industrie wird sich der starke Strukturwandel auch in den kommenden Jahren fortsetzen (Wissenschaftlicher Beirat, 2000). Diese Entwicklung ist zum einen darauf zurückzuführen, dass auch in diesem Wirtschaftszweig mit zunehmender Betriebs- und Unternehmensgröße Kostenvorteile zu realisieren sind. Das betrifft nicht nur die Verarbeitungskosten im engeren Sinne, sondern auch die Kosten für Forschung und Entwicklung, die Kosten der Einführung neuer Produkte am Markt und die Kosten, die mit Internationalisierungsstrategien verbunden sind. In allen Fällen gilt, dass größere Unternehmen den Aufwand auf eine größere Produktmenge umlegen können und damit geringere Stückkosten realisieren. Zum anderen geht auch von den Konzentrationstendenzen im Lebensmittelhandel ein starker Impuls auf den Strukturwandel in der Molkereiwirtschaft aus.

Die weitere Zunahme der Konzentration in der Molkereiwirtschaft wird früher oder später dazu führen, dass für die landwirtschaftlichen Betriebe in bestimmten Regionen nur noch ein einziger Abnehmer in der Region zur Verfügung stehen wird. Der freie Wettbewerb um den Rohstoff Milch ist damit beeinträchtigt. Die Gefahr, dass die Molkereiunternehmen aufgrund ihrer marktbeherrschenden Stellung dann zu niedrige Milchpreise auszahlen, ist nicht von der Hand zu weisen. Es ist aber zu bezweifeln, dass man diese Problematik mit den Mitteln des Kartellrechts nachhaltig in den Griff bekommen kann. Wenn der Staat mehr Molkereiunternehmen in einer Region zu halten versucht, als der Markt und die Kostenstrukturen eigentlich hergeben, so läuft er Gefahr, damit über kurz oder lang den gesamten Produktionsstandort aufs Spiel zu setzen. Den Milcherzeugern wird daher wahrscheinlich nichts anderes übrig bleiben, als die Strukturen zu übernehmen, die sich in der Zucker-

wirtschaft im Großen und Ganzen bewährt haben: Durch Lieferantenzusammenschlüsse wird eine starke Gegenmacht gegenüber dem regionalen Monopsonisten aufgebaut mit dem Ziel, die Preis- bzw. Lieferkonditionen dann nach den Regeln eines bilateralen Monopols auszuhandeln.

5 Zusammenfassung

Fortschritte in der Informationstechnologie und in der Biotechnologie führen dazu, dass sich die Produktionssysteme der Milchviehhaltung rascher als bisher weiterentwickeln können. Aus den technologischen Veränderungen ergeben sich Chancen für eine Verbesserung der Rentabilität, der Produktqualität sowie der Umwelt- und Tierschutzwirkungen. Es entstehen aber auch Risiken und neue Regelungserfordernisse. Die Beschleunigung der technischen Möglichkeiten eröffnet für die Unternehmer Anpassungsmöglichkeiten und - vermittelt über den Wettbewerb - auch Anpassungsdruck. Die weltweite Nachfrage nach Milchprodukten wird deutlich zunehmen, und die Weltmarktpreise werden höher liegen als in der Vergangenheit. Insgesamt sind somit günstige Rahmenbedingungen für die Milchwirtschaft zu erwarten.

In welchem Umfang die europäische Milchwirtschaft die Potenziale nutzen, d. h. Marktanteile sichern und Arbeitsplätze schaffen kann, hängt wesentlich von den politischen Rahmenbedingungen ab. Ob ein Politikschwenk hin zu einer offensiven Strategie gelingt, die stärker auf Strukturwandel setzt (auch in Richtung auf mehr Umwelt- und Tierschutz) und günstige Rahmenbedingungen für investitionsbereite Unternehmer in den Mittelpunkt stellt (einschließlich der gezielten Kompensation für kostenträchtige Auflagen), erscheint derzeit fraglich. Die Fortsetzung der defensiven, auf Strukturerhaltung abzielenden Politik wird die langfristige Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Milchwirtschaft schwächen und zu einem lang anhaltenden, schleichenden Verlust von Marktanteilen führen.

Literatur

Becker H (1999): Der Ländliche Raum: wird er „Sieger“ bleiben? Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (Hrsg.): Landwirtschaft 2010. Archiv der DLG, band 93, S. 91 – 103

Delgado C, Rosegrant M, Steinfeld H, Ehui S, Courbois C (1999): Livestock to 2020 – The Next Food Revolution. International Food Policy Research Institute (Ed.), Dicussion Paper 28

FAPRI (2000): FAPRI 2000 World Agricultural Outlook. The Food and Agriculture Policy Research Institute at the University of Missouri (ed.) [www.fapri.missouri.edu]

Hemme T (2000): Ein Konzept zur international vergleichenden Analyse von Politik- und Technikfolgen in der Landwirtschaft. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 215

Isermeyer F (1993): Chancen und Risiken der Milchproduktion in unterschiedlich großen Beständen. Arbeitsbericht 1/93 des Institutes für Betriebswirtschaft der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Isermeyer F (1998): Auswirkungen der Milchquotenregelung auf die deutsche Landwirtschaft. Arbeitsbericht 1/1998 des Instituts für Betriebswirtschaft der FAL

Isermeyer F (2001a): Die Agrarwende – was kann die Politik tun? Arbeitsbericht 2/2001 des Instituts für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig

Isermeyer F (2001b): Die Wettbewerbsfähigkeit der Tierproduktion im internationalen Vergleich. Arbeitsbericht 3/2001 des Instituts für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der FAL, Braunschweig

Niemann H (1998): Tier als Arzneimittel- und Organlieferanten - neue Perspektiven in der Biomedizin. In: Senat der Bundesforschungsanstalten (Hrsg.), Forschungsreport 2/1998, S. 9-13

Simmianer H und Grandke R (1998): Markergestützte Selektion wird unsere Zuchtprogramme verändern. In: Milchrind 2/1998, S. 6-10

Wissenschaftlicher Beirat beim BML (1998): Integration der Landwirtschaft der Europäischen Union in die Weltagrarwirtschaft. In: BML (Hrsg.): Angewandte Wissenschaft, Heft 476

Wissenschaftlicher Beirat beim BML (2000): Zur Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Milchwirtschaft. Angewandte Wissenschaft, Heft 486

Milch - vom Naturerzeugnis zum Designerprodukt

Gerhard Jahreis, J. Kraft und P. Möckel*

Zunächst stellt sich die Frage, inwieweit man ein Naturprodukt wie die Milch überhaupt verändern sollte. Wir müssen uns im Klaren darüber sein, dass aufgrund von Züchtungsmaßnahmen der vergangenen Jahrhunderte die Kuhmilch sich in ihrer Zusammensetzung deutlich verändert hat. Andererseits zeigen Vergleiche der Lipidzusammensetzung, dass z. B. nordamerikanische und afrikanische Wildwiederkäuer (Elch, Maultierhirsch, Antilopen) eine ähnliche Fettsäurenverteilung aufweisen, wie weidende Hausrinder, die sich aber deutlich von Konzentrat-gefütterten Rindern unterscheidet (Cordain et al., 2002). Insgesamt ist die Milchzusammensetzung von Wiederkäuermilch sehr aufregend. In den letzten Jahren sind große Fortschritte auf analytischem Gebiet erzielt worden, z. B. dass über 100 verschiedene Fettsäuren im Milchfett nachgewiesen werden können. Gerade diese Vielfalt im Vergleich zu einem Pflanzenöl beruht auf der Wirkungsweise der Mikroorganismen im Vormagensystem.

In der Milch sind die Hauptnährstoffe zu jeweils etwa einem Drittel auf Kohlenhydrate, Protein und Fett verteilt. Die Abbildung 1 zeigt einige interessante Komponenten der Milch, die besonders unter dem Aspekt von Functional Food potenzielles Interesse finden.

Die Kohlenhydratfraktion, d. h. der Anteil an Laktose, ist kaum beeinflussbar. Lediglich bei gentechnisch veränderten Säugern konnte eine Minderung des Laktoseanteils erreicht werden, die allerdings dazu führte, dass ein viskoses Sekret entstand. Eine Veränderung des Laktosegehaltes in der Milch ist folglich im Augenblick außer Diskussion und auf Grund der osmotischen Eigenschaften kaum realisierbar, wenn die herkömmlichen Eigenschaften der Milch erhalten bleiben sollen.

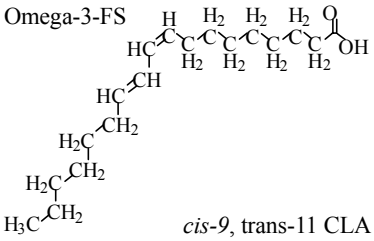
Lipide	Omega-3-FS  *cis-9*, trans-11 CLA
Proteine	Bioaktive Peptide Casokinin Phosphopeptide Laktoferrin, Lysozym
Kohlenhydrate	Oligosaccharide, Aminozucker Laktose
Minorbestandteile	Calcium, Selen, Jod Tocopherole Carotinoide

Abbildung 1
Hauptkomponenten der Milch mit physiologisch interessanten Bestandteilen

Proteinfraktion

Die Proteinfraktion enthält verschiedene Bestandteile mit hoher physiologischer Relevanz (z. B. antimikrobielle, immunmodulierende, blutdrucksenkende Eigenschaften; Abbildung 2).

Um diese positiven Eigenschaften noch weiter zu verbessern, gibt es eine Reihe von Bestrebungen, die Proteinfraktion im ernährungsphysiologischen Sinne zu modifizieren. Am interessantesten erscheint eine Anreicherung mit Laktoferrin und Lysozym. Diese beiden „Säugerantibiotika“ sind in der Humanmilch in wesentlich höheren Konzentrationen enthalten. Die sehr niedrige Expression des Lysozym-kodierenden Gens wird offensichtlich durch eine evolutionsbedingte „down mutation“ beim Promotor dieses Gens verursacht. Ein züchterischer Einfluss scheint schwierig zu sein, so dass vor allem auf gentechnischem Wege an einer erhöhten Expression gearbeitet wird. Fütterungseinflüsse sind unbekannt.

* Prof. Dr. Gerhard Jahreis, J. Kraft und P. Möckel, Friedrich-Schiller-Universität, Institut für Ernährungswissenschaften, Lehrstuhl Ernährungsphysiologie, Dornburger Str. 24, D-07743 Jena.

Casein

Casein wirkt stärker antimutagen als andere Nahrungsproteine. Carcinogene werden durch Glucoronierung deaktiviert, bakterielle β-Glucoronidasen setzen diese im Darm wieder frei.Casein hemmt faecale β-Glucoronidasen.

Molkenproteine

5-6 g/l (β-Lactoglobulin: 2-4 g/l; Immunoglobulin: 0,5-1,8 g/l, α-Lactalbumin: 0,6-1,7 g/l; bovines Serumalbumin: 0,2-0,4 g/l, Laktoferrin: 0,02-0,1 g/l).

Molkenproteine reduzieren effektiv die Tumorinzidenz. *Glutathion*: hoher Gehalt an S-haltigen Aminosäuren. *Immunmodulation*: bLf erhöht $CD4^+$ - und $CD8^+$ - T-Zellen (zytotoxisch gegen Coloncarcinom) und NK-Zellen.

Calcium (ca. 1.200 mg/l)

Langkettige Fettsäuren und Gallensäure wirken zytotoxisch und schädigen Colonepithel Z Apoptose Z Produktion neuer Zellen Z erhöhte Zellproliferation Z Risiko von colorektalem Krebs, Nahrungsfaktoren verursachen Irritation, die zur aberranten Zellregulation führt.

Ca bildet unlösliche nicht toxische Komplexe, Ca mindert die Zytoxität von Faeceswasser, zur positiven Ca-Wirkung liegen die meisten Studien vor.

Abbildung 2
Proteine und Calcium - Kuhmilchkomponenten mit krebshemmender Wirkung

Aus technologischen Gründen (Labgerinnung, Bruchfestigkeit, Käseausbeute) erscheint eine Beeinflussung des κ-Caseinanteiles sinnvoll (Reichardt et al., 1999). Untersuchungen zeigen, dass besonders mit fortschreitender Laktation der κ-Caseinanteil in der Milch zunimmt. Zudem besteht ein hoher Einfluss der Rasse (z. B. hohe Anteile beim Braunvieh).

1. Variation des Gehaltes an einzelnen Proteinfraktionen
   z.B. β-Lactoglobulin↓, α-Lactalbumin↓(Allergene),
   β-Casokinin-7↑(blutdrucksenkende Wirkung)
2. Erhöhung des Anteils von Caseinfraktionen mit geringerem Phenylalaningehalt
3. Erhöhter Gehalt an Lactoferrin und Lysozym
4. Synthese pharmazeutisch interessanter Produkte in der Milchdrüse

Abbildung 3
Gentechnische Modifikation des Milcheiweißes

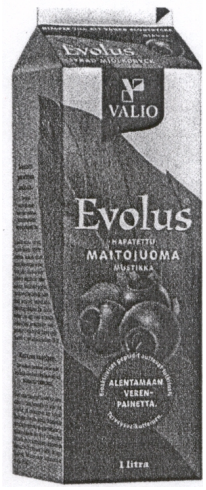
Peptide	Quelle [1)]	Bioaktivität
α-Casomorphine	α_{S1}-Casein 90-96 u. Fragm.	Opioide Wirkung
β-Casomorphine	β-Casein 60-70 u. Fragmente	Opioide Wirkung
α-Lactorphin	α-Lactalbumin 50-53	Opioide Wirkung
β-Lactorphin	β-Lactalglobulin 102-105	Opioide Wirkung
Lactoferricin	Lactoferrin 17-41	Antimicrobiell
α-Casokinin	α_{S1}-Casein 23-27	ACE-Hemmer
β-Casokinin	β-Casein 177-183	ACE-Hemmer
Caseinophosphopeptide (CPP)	α_{S1}-Casein 43-58; 59-79	Ca-Absorpt., Recalcifizrg. von Zähnen und Knochen
Immunomodulator, Peptide	α_{S1}-Casein 194-199	Immunstimulation
Casoplateline	κ-Casein 106-116 u. Fragm.	Antithrombotisch
Casoxine	κ-Casein 33-38 u. Fragmente	Opioide Wirkung

1) Herkunftsprotein und Sequenz-Abschnitt

Abbildung 4
Bioaktive Peptide des Milchproteins

Die Proteinzusammensetzung der Kuh- und Muttermilch unterscheidet sich deutlich sowohl hinsichtlich Casein-Anteile als auch hinsichtlich Molkenproteine. So enthält z. B. Kuhmilch kein β-Lactoglobulin (allergene Wirkung beim Menschen). Besonders ungünstig ist der geringe Gehalt an Lysozym und Lactoferrin. Über gentechnische Eingriffe kann die weniger günstige Zusammensetzung verändert werden. Dies wird auch als „Humanizing“ der Kuhmilch bezeichnet (Abbildung 3).

Außerdem gibt es Bestrebungen, die physiologischen Effekte verschiedener Peptide des Milchproteins nutzbar zu machen. Zu bisher bekannten Bioaktivitäten einzelner Peptide gibt Abbildung 4 Auskunft.



Blutdruck-senkende Milch

Valio Ltd. Finnland

Seit 1. Nov. 2001, erstes europäisches Produkt
Ähnliche Produkte werden in Japan angeboten

Fermentierte Milch: (*L. helveticus* LBK-16H)
Bakteriell abgebautes Milchprotein mit bioaktiven Tripeptiden (Val-Pro-Pro- und Ileu-Pro-Pro)
ACE-Hemmung (angiotensin converting enzyme)

Blutdrucksenkend bei Aufnahme von mind. 150 ml/d
Preis: $ 2,15/l

Interventionsstudien: nach 7 Wochen bei Patienten mit mäßig erhöhtem Blutdruck signifikanter Abfall des diastolischen und sistolischen Blutdrucks

Claim: Helps to lower bood pressure

Abbildung 5
Produktbeispiel für bioaktive Peptide (Berry, 2000)

Dass diese bioaktive Wirksamkeit bestimmter Peptide bereits kommerziell genutzt wird, zeigt Abbildung 5. Dieses finnische Functional Food enthält aufgrund von bakteriellem Proteinabbau isolierte Tripeptide, die vergleichbar den in der Medizin genutzten ACE-Hemmern wirken. Die blutdrucksenkende Wirkung wird als sogenannter Claim ausgewiesen. Das heißt, in diesem Falle wird als Indikation der Verzehr des Erzeugnisses bei erhöhtem Blutdruck empfohlen.

Neben den effektiveren Lipidkomponenten (Abbildung 7) scheinen auch Proteinkomponenten (Abbildung 2) bei der Carcinogenese bzw. deren Hemmung eine Rolle zu spielen.

Fettfraktion

Aufgrund der Biohydrogenierung sind die Gehalte an polyungesättigten Fettsäuren (PUFA) in der Wiederkäuermilch sehr niedrig und erreichen maximal 6 % für Linolsäure und 2,5 % für Linolensäure unter üblichen Bedingungen (Abbildung 6).

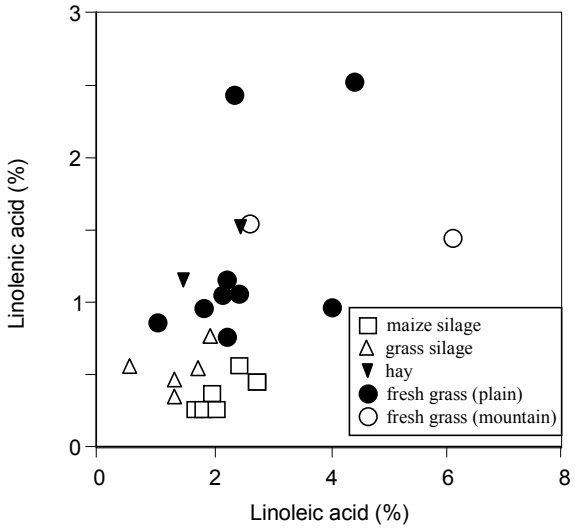


Abbildung 6
Linol- und Linolensäuregehalte in der Milch in Abhängigkeit von der Ration

Es fehlt nicht an Versuchen, den Gehalt an langkettigen PUFA im Milchfett zu erhöhen. Entsprechende Untersuchungen von Chillard et al. (2001) ergaben eine Transferrate für EPA von nur 2,6 % und für DHA von 4,1 % (Tabelle 1).

Tabelle 1
Transfer von EPA und DHA in das Milchfett

Fettsäure	Aufnahme	Im Milchfett		Transferrate
	g/Tag	% gesamt FAME	g/Tag	%
EPA (C20:5, n-3)	42,1 (±23,9)	0,12 (±0,15)	1,0 (±1,0)	2,6 (±2,2)
DHA (C22:6, n-3)	32,9 (±25,8)	0,15 (±0,20)	1,1 (±1,0)	4,1 (±5,7)

Unter üblichen Bedingungen ist folglich keine ökonomisch sinnvolle Anreicherung der Milch mit ω-3-Fettsäuren möglich. Inwieweit verkapselte Präparate erfolgreich sind bedarf weiteren Untersuchungen. Das Phospholipid **Sphingomyelin** ist ein wichtiger Bestandteil der Plasmamembran vieler Säugerzellen sowie der Fettkügelchenmembranen der Milch (Abbildung 7). Es besteht aus einem Phosphorylcholin- und Ceramidrest. Neben der Strukturfunktion des Sphingomyelins spielen dessen Metabolite Ceramid und Sphingosin eine Rolle bei der Signaltransduktion durch die Zellmembran. Die Ceramid-beeinflussten Stoffwechselwege vermitteln antiproliferative Wirkungen in Zellen, wie Hemmung des Zellwachstums, Induktion der Differenzierung und Induktion der Apoptose (Übersicht: Jahreis, 1999a). Eine Erhöhung des Sphingomyelinanteils im Sinne einer Krebsprävention erscheint angezeigt.

CLA

a) Hemmung von Wachstum u. Proliferation von Epithelzellen, Induktion der Apoptose

b) Hemmung der Bildung von AA und PGE_2 ; TNF-α fördert Tumorgenese, wird durch PGE_2 stimuliert und durch CLA gehemmt

Sphingomyelin (Ceramide)

Buttermilch und Molkenlipide sind gute Quellen. S. reduziert Bildung der aberrant crypt foci (ACF = frühe Präkursoren des Colonkrebses), S. hemmt Umwandlung von benignen Adenomen in maligne Adeno-Carcinome

Buttersäure

Milchfett enthält ca. 10 mol% Buttersäure, 1/3 des Milchfett-TAG enthält 1 Molekül B.

13-Methyltetradecansäure (C15 mit terminalem Isopropyl)

0,5 % im Milchfett, Gesamt-Isosäuregehalt ca. 1,6 %. 13-MTDS beschleunigt Apoptose

Milchfett versus PUFA-reiche Öle

6 Studien mit Krebsmodellen zeigen, dass sich bei Gabe von Butter gegenüber isocalorischen PUFA-Ölen oder Margarine signifikant weniger Tumore entwickeln.

(Blobradrajdic und McIntosch, Cancer Res. 36, 2000, 217-223)

Abbildung 7
Lipid-Komponenten der Kuhmilch mit krebshemmender Wirkung

Fettsäuren, besonders konjugierte Linolsäuren (CLA)

Die wohl potentesten krebshemmenden Substanzen des Milchfettes sind die CLA, die als Derivate der Linolsäure unter dem Einfluss von Isomerasen der Pansenbakterien (besonders *Butyrivibrio fibrisolvens*) entstehen. Bisher sind Konjugationen an folgenden Kohlenstoffatomen identifiziert worden: 7,9; 8,10; 9,11; 10,12; 11,13 und 12,14. Wenn man davon ausgeht, dass jedes Isomeren als *cis,cis*; *cis,trans*; *trans,cis* bzw. *trans,trans* vorliegt, ergibt das 24 Isomeren. Der Anteil des Hauptisomers, *cis*-9,*trans*-11 CLA, am gesamten CLA-Gehalt der Milchfettfraktion beläuft sich für Kuhmilch auf > 80 %. Neben den anticarcinogenen Eigenschaften weisen die CLA weitere größtenteils positive Eigenschaften auf (Abbildung 8).

1987 Anticarcinogene Effekte *Ha et al., Carcinogenesis **8**, 1881 (1987)*
1993 Immunmodulation *Cook et al., Poultry Sci. **72**, 1301-1305 (1993)*
1994 Prävention der Arteriosklerose *Lee et al., Atherosclerosis **108**, 19-25 (1994)*
1996 Reduktion des Körperfettes *Pariza et al., FASEB J. A560 (1996)*
1998 Normalisierung einer verschlechterten Glucosetoleranz *Houseknecht et al., Biochem. Biophys. Res. Comm. **244**, 678-682 (1998)*
1999 erhöhte fatty streak-Bildung *Munday et al., Brit. J. Nutr. **81**, 251-255 (1999)*
1999 Isomeren-spezifische (*trans*-10, *cis*-12) Veränderung der Körperzusammensetzung *Park et al., Lipids **34**, 235-241 (1999)*

Abbildung 8
Entdeckungsgeschichte der CLA

Im Pansen entstehen aus isolierten Doppelbindungen z. B. der Linolsäure zunächst konjugierte Doppelbindungen mit *trans*-Stellung. Über die *trans*-Isomeren der Octadecensäure erfolgt die Biohydrogenierung bis zur Stearinsäure (Abbildung 9).

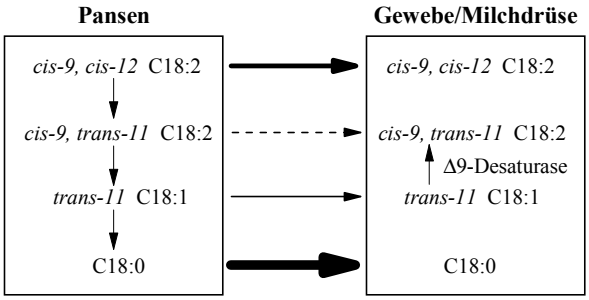


Abbildung 9
Bildung von CLA aus Linolsäure bei Wiederkäuern

Mehrfach ungesättigte Fettsäuren (PUFA) werden im Pansen der Milchkuh in der Regel bis zur Stearinsäure hydriert, diese wird ins Milchfett eingebaut. Nach Ölfütterung erhöht sich besonders der Anteil an Stearinsäure, gleichzeitig gelangt ein geringer Teil der PUFA unverändert in die Milchdrüse. CLA gelangen über den Blutstrom zur Milchdrüse bzw. werden im Gewebe aus *trans*-Octadecensäuren unter dem Einfluss von Desaturasen synthetisiert. Die häufigste *trans*-Octadecensäure des Milchfettes ist die *trans*-Vaccensäure (*trans*-11 C18:1). So entsteht aus *trans*-Vaccensäure unter dem Einfluss der Δ-9-Desaturase das Haupt-CLA-Isomere *cis*-9,*trans*-11 C18:2 (Abbildung 9).

Erhöhung des CLA-Gehaltes

Die Bildung von CLA hängt vom Substrat (aufgenommenen PUFA), der Grundration (Konzentratanteil), dem pH-Wert und auf Grund der Spezies-spezifischen Ernährungsweise auch von der Wiederkäuerart ab. Es fehlt nicht an Versuchen über Öl-Supplemente den CLA-Gehalt anzureichern. Besonders hohe CLA-Gehalte werden bei Fischölgaben erreicht - allerdings mit dem Preis – so dass der Gehalt an *trans*-Isomeren der Ölsäure enorm ansteigt (13,7 % der FAME; Tabelle 2).

Tabelle 2
CLA-Isomeren des Milchfetts nach Fischölgabe (3% Öl in jeder Gruppe; Angaben in Prozent der gesamten FAME; Palmquist und Griinari, 2001)

	% Fischöl im Ölsupplement			
	0	33	67	100
trans 18:1	14,20	18,10	18,60	13,70
c 9, *t* 11 CLA	4,02	6,09	5,84	3,47
t 10, *c* 12 CLA	0,11	0,10	0,10	0,12
c 9, *t* 11 CLA/ *trans* -11 18:1	0,53	0,34	0,40	0,41

Die Verwendung von Soja-Öl ist wenig effektiv, der *trans*-Fettsäurengehalt steigt enorm an (15,6 % *trans* C18:1), bei einem sehr hohen Anteil von 10 % *trans*-10,*cis*-12 bezogen auf Gesamt-CLA (Tabelle 3).

Die Isomerenverteilung der CLA hängt sehr stark vom eingesetzten Öl ab (Griinari et al., 2000). Ölsäurereiche Öle, wie z. B. Rapsöl oder Erdnussöl, führen dazu, dass ein höherer Anteil an *trans*-7, *cis*-9 CLA von etwa 10 bis 15 % an den gesamten CLA im Milchfett nachweisbar ist. Grund dafür ist die verstärkte Bildung von *trans*-7 Octadecensäure, die im Gewebe unter der Wirkung von Δ-9-Desaturase in *trans*-7, *cis*-9 CLA umgewandelt wird.

Tabelle 3
CLA-Gehalt und Isomerenverteilung im Milchfett von Kühen, denen extreme Rationen (ER) verabreicht wurden (ER= 25 % Rauhfutter, 70 % Kraftfutter, 5 % Sojaöl; Piperova et al. 2000)

	Kontrolle	**ER**
	g/100 g FAME	
trans 18:1	1,9	15,6
Gesamt-CLA	0,56	0,95
	g/100 g Gesamt-CLA	
CLA-Isomeren		
trans -7, *cis* -9	7,8	23,4
cis -8, *trans* -10	1,5	1,8
cis -9, *trans* -11	79,7	56,7
trans -10, *cis* -12	1,0	10,1
cis -11, *trans* -13	0,2	0,1
trans -11, *cis* -13	0,7	0,2
cis -12, *trans* -14	0,7	0,7

Leinsamenöl-Supplemente fördern besonders bei Fütterung von Rationen auf Grassilagebasis die Bildung von 11,13- bzw. 12,14-CLA, während ein Zusatz von Fischöl die Entstehung des *cis*-9, *trans*-11-Isomers (rumenic acid), also des Haupt-CLA-Isomers begünstigt, so dass dessen Anteil am Gesamt-CLA auf über 90 % ansteigt (Tabelle 2), während der Anteil an „rumenic acid" bei Verfütterung anderer ölsäurereicher Rationen zwischen 80 und 85 % am Gesamt-CLA-Gehalt variiert. Bei der Fütterung von Sonnenblumenöl kommt es zur verstärkten Bildung des *trans*-10, *cis*-12-Isomers. Sowohl diese CLA-Verbindung als auch *trans*-10-Octadecensäure hemmen die Fettsynthese in der Milchdrüse. In einem Versuch mit täglich 400 g Sonnenblumen- bzw. Rapsöl pro Tier und Tag fanden wir im Milchfett ein *trans*-10, *trans*-11 C18:1-Verhältnis von etwa 0,6 bei den Rapsöl-gefütterten Tieren, während sich dieses Verhältnis auf deutlich über 1 bei den Sonnenblumenöl-gefütterten Tieren erhöhte. Die Folge davon war, dass der Fettgehalt von etwa 3,8 % auf 2,1 % abfiel. Eine Zulage von 200 g basischem Pansenpuffer normalisierte den Fettgehalt in der Milch (Tischendorf et al., 1999).

In der Zwischenzeit fand eine Reihe von Experimenten statt, um den CLA-Gehalt in der Kuhmilch zu erhöhen. Den größten Einfluss hat dabei die Fütterung von Fischöl (300 g/Tier und Tag) mit einem Anstieg des CLA-Gehaltes auf 2 bis 3 % bzw. von frischem Weidegras mit einem Anstieg bis auf 1,5 % (Offer, 2000).

CLA-Einfluss auf Milchfettbildung

Nach duodenaler Infusion von 200 g CLA-Öl mit einem hohen Anteil an *trans*-10-CLA fiel der Fettgehalt in der Milch von 5 auf 2,5 % innerhalb von vier Tagen ab. Dieses Ergebnis beweist die massive Hemmung der Milchfettsynthese durch *trans*-10-Isomere (Abbildung 10).

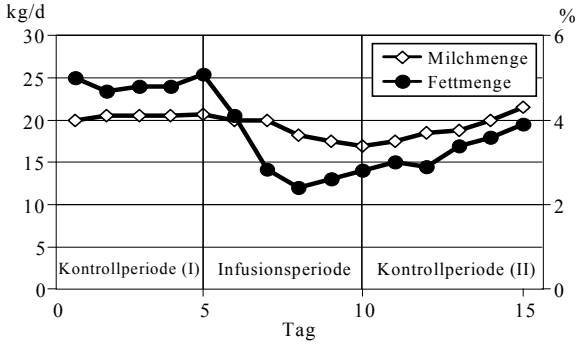


Abbildung 10
Einfluss einer duodenalen CLA-Infusion auf die Milchmenge und den Fettgehalt (Kraft et al., 2000)

Während der Nachperiode ohne CLA-Infusion normalisierte sich der Fettgehalt nur langsam. Auf die Milchleistung wirkte sich die Infusion nur moderat aus.

Aus den aufgeführten Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass CLA neben der Pansengenese als zweite Quelle im Wesentlichen durch die Δ-9-Desaturation entstehen (*cis*-9, *trans*-11 und *trans*-7, *cis*-9). Unabhängig von den allgemeinen Fütterungsbedingungen und der Fettzulage ist die CLA-Isomerenverteilung im Milchfett relativ konstant, der Anteil an „rumenic acid" beläuft sich auf 80 bis 90 %. Besonders das *trans*-10, *cis*-12-Isomere, aber auch die *trans*-10-Octadecensäure sorgen bei erhöhter ruminaler Bildung für einen deutlichen Abfall des Milchfettgehaltes (Abbildung 11).

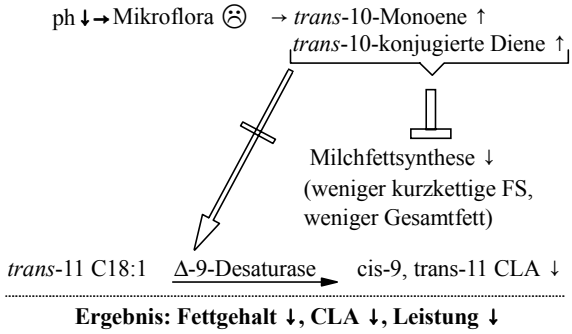


Abbildung 11
Kraftfutterreiche Rationen fördern die Bildung von *trans*-10 C18:1 und hemmen die Milchfettsynthese

Die Supplementation von Milchviehrationen mit „Pansen-geschützten" CLA-Präparaten bewirkte bei den meisten Versuchsanstellern einen Abfall der Fettmenge, während Milch und Proteinmenge mehr oder weniger deutlich anstiegen (Tabelle 4).

Tabelle 4
Effekt von Pansen-geschütztem CLA

Studien	**Dauer**	**Fett Menge**	**Milch Menge**	**Protein Menge**
	Tage	prozentuale Veränderung		
Giesy et al., 2000	67	-18,5	+5,5	-1,7
Bernal-Santos et al., 2001	70 (140)	-6,0	+6,0	+5,5
Perfield et al., 2001	70 (140)	-20,0	+5,0	+3,0
Medeiros et al., 2000	77	-24,5	+4,5	+16,0
Kraft et al., 2001	42	-19,0	0	+1,0
Mackle et al., unpublished	42	-9,9	+10,6	+6,3

Naturnahe Haltungsbedingungen

Im Sommer, während der Weideperiode, enthält Wiederkäuermilch aufgrund des hohen Anteils an PUFA im Gras die höchsten CLA-Gehalte. Dies ist unabhängig von der Tierart. In der Regel ist Schafmilch am CLA-reichsten, Kuhmilch zeichnet sich in Abhängigkeit von der Fütterung durch enorme Schwankungen des CLA-Gehaltes aus, während Ziegenmilch niedrigere CLA-Gehalte aufweist.

Von uns durchgeführte Analysen in der Rohmilch verschiedener Lieferanten einer Thüringer Molkerei ergaben erhebliche Schwankungen des Anteils an ernährungsphysiologisch bedeutsamen Fettsäuren im Jahresverlauf (Abbildung 12).

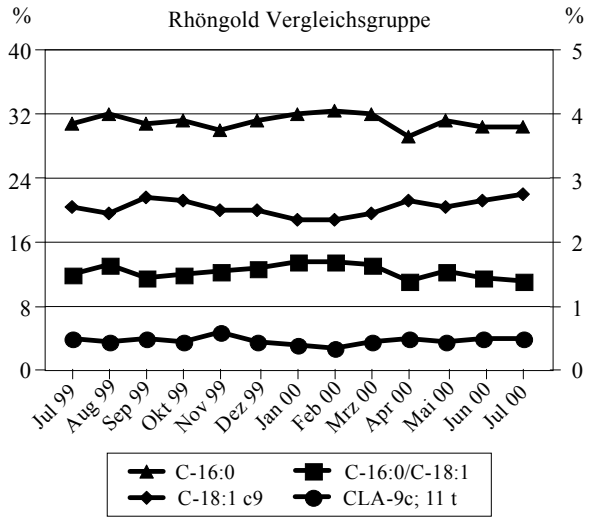


Abbildung 12
Gehalt an Palmitinsäure, Ölsäure und CLA im Milchfett einer ganzjährig stallgehaltenen Vergleichsgruppe

Bei Stallhaltung und ganzjähriger Silagefütterung liegt der Gehalt an Palmitinsäure > 30 % der gesamten FAME, während der Ölsäuregehalt ca. 20 % beträgt. Das ergibt ein Palmitinsäure/Ölsäure-Verhältnis von 1,5. Die CLA-Anteile liegen deutlich unter 0,5 %.

Geringere Kraftfuttermengen, Weide- und Grassilage-Fütterung unter weniger intensiven Bedingungen ergeben einen typischen „Fingerprint“ für den Jahresverlauf zur Fettsäurenverteilung im Milchfett (Abbildung 13). Der Palmitinsäureanteil fällt auf ca. 25 % der gesamten FAME ab, während sich der Ölsäureanteil auf 25 % erhöht. Das entspricht einem Palmitinsäure/Ölsäure-Verhältnis von ca. 1 im Jahresverlauf. In Abhängigkeit von der Jahreszeit liegt der CLA-Gehalt während der Sommermonate am höchsten, im Jahresmittel erreicht er fast 1 %.

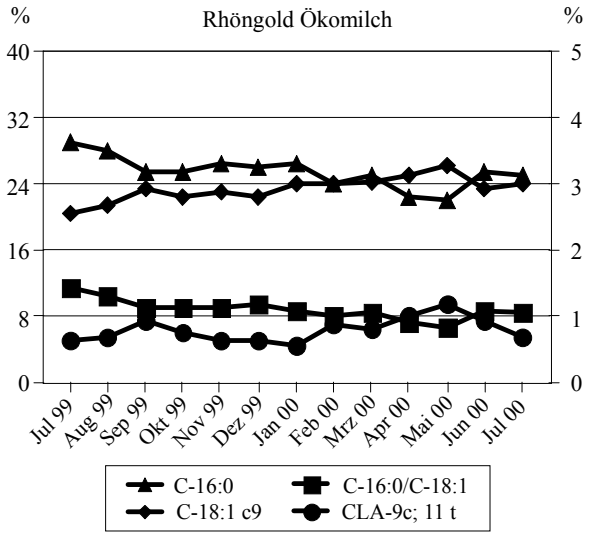


Abbildung 13
Gehalt an Palmitinsäure, Ölsäure und CLA im Milchfett einer Milchviehherde unter ökologischen Produktionsbedingungen

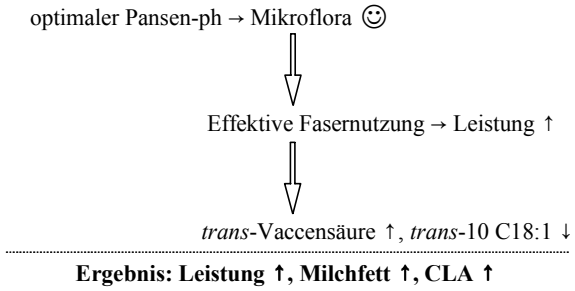


Abbildung 14
Naturnahe Fütterung (Weide, wenig Kraftfutter) bedingt einen mehrfach erhöhten Gehalt an CLA im Milchfett

Weidegang der Kühe und bestmögliche Entwicklung der Mikroflora führen zu einer erhöhten Bildung von *trans*-Vaccensäure aus den PUFA der Weidegräser/-kräuter. Die Umwandlung der *trans*-Vaccensäure in der Milchdrüse zu CLA ist aufgrund der geringen Entstehung von *trans*-10 C18:1 bei der Biohydrogenierung ungesättigter Fettsäuren im Pansen optimal (Abbildung 14). So enthält z. B. Alpenkäse 3,2 % *trans*-Vaccensäure (der gesamten FAME), der CLA-Gehalt liegt außergewöhnlich hoch bei 2,2 % (Abbildung 15). Gleichzeitig unterscheidet sich die CLA-Isomerenverteilung vom üblichen Milchfett durch den außergewöhnlich hohen Anteil an *trans*-11, *cis*-13 CLA.

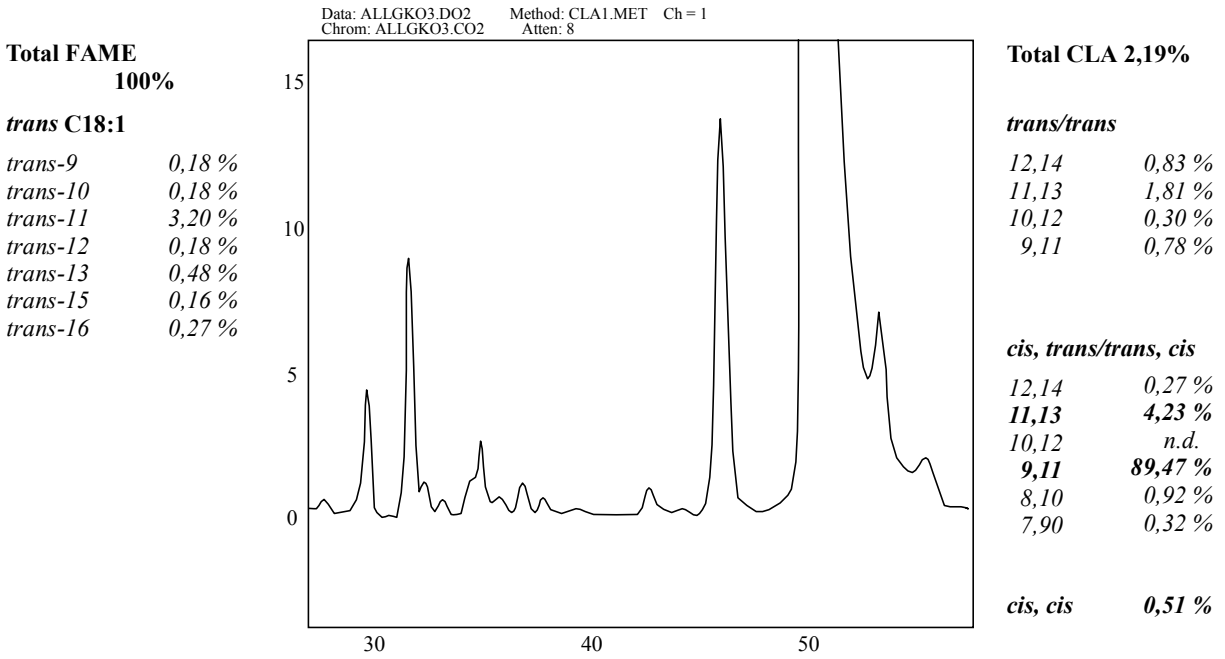


Abbildung 15
Ag^+-HPLC-Chromatogramm vom Fett des Bregenzer Alpenkäses

In Deutschland werden 200 bis 400 mg CLA pro Person und Tag aufgenommen (Fritsche und Steinhart, 1998; Jahreis und Kraft, 2002), in den USA sind es lediglich ~150 mg (Ritzenthaler et al., 2001). Die geschätzte tägliche Zufuhr an *trans*-Vaccensäure beträgt über 1 g. Fettgewebe, Muttermilch, Blutserum, Galle und Darmsaft des Menschen enthalten ebenfalls CLA, jedoch in wesentlich geringeren Mengen (Cawood et al., 1983; Harrison et al., 1985; Jahreis et al., 1999b und 1999c; Salminen et al., 1998). Es gibt Hinweise, dass CLA auch beim Menschen infolge anaerober mikrobieller Aktivitäten im Darm oder einer durch freie Radikale induzierten Isomerisierung aus Linolsäure entstehen (Fogerty et al., 1988; Cawood et al., 1983). Neuere Arbeiten zeigen, dass im Säugergewebe CLA unter dem Einfluss der Δ-9-Desaturase aus *trans*-Vaccensäure entstehen (Griinari et al., 2000; Corl et al., 1998, 2001; Salminen et al., 1998; Adlof et al., 2000; Santora et al., 2000; Banni et al., 1999). Wenn nur ein Drittel der zugeführten *trans*-Vaccensäure an der Position 9 desaturiert würde, käme dies einer Verdopplung der CLA-Zufuhr gleich (Tabelle 5).

Tabelle 5
Geschätzte tägliche Aufnahme an *trans*-Vaccensäure-(*t*V) und CLA in Deutschland (männl.) auf der Grundlage der Nationalen Verzehrsstudie

Lebensmittelgruppe	*t*V	*t*V-Aufnahme	CLA	CLA-Aufnahme
	% FAME	mg	% der FAME	mg
Fleisch und Wurstwaren				
Rind	1,5	87	0,7	41
Nicht-Rind	0,4	121	0,2	61
Fisch und Fischwaren	?	-	?	-
Eier	0,2	8	0,1	4
Milch und Milchprodukte	2,7	221	0,5	72
Käse und Quark	1,0	62	?	?
Butter	3,0	462	0,6	92
Speisefette/Öle	0,8	140	0,1	17
Brot, Backwaren, Nährmittel	0,4	42	0,2	21
Kartoffeln, Obst, Gemüse	?	?	?	-
Süßwaren, Gewürze, Zutaten	?	?	?	-
Alkoholfreie Getränke	0,2	0,2	0,3	1
Insgesamt	**-**	**1.144**	**-**	**309**

Auch hinsichtlich CLA wird inzwischen ein Produkt vermarktet (Abbildung 16). Die Hersteller werben damit, dass durch die besonders artgerechte Form der Haltung bei ökologischer Wirtschaftsweise der CLA-Gehalt nachweislich höher ist gegenüber anderen Haltungsformen. Als Claims für die CLA loben sie u. a. „die positive Wirkung auf den Fettstoffwechsel“ aus. Weitere Entwicklungen von Functional Food werden die besonderen Lipidkomponenten der Milch zum Inhalt haben.

Außerdem sind sowohl im Hinblick auf den Verbraucher als auch unter dem Aspekt der Lagerung hohe Gehalte an Antioxidantien, wie z. B. Tocopherole und Carotinoide, erwünscht. Dazu liegen umfangreiche Übersichten vor (z. B. Flachowsky et al., 1997).

Abbildung 16
Ökomilch „Heirler“ seit 2001 Molkerei Andechs

Schlussfolgerungen

Eine soeben erschienene Multicenter-Kohortenstudie (CARDIA-Studie), die über einen Zeitraum von 15 Jahren angelegt ist, prüft den Einfluss des Verzehrs von Milchprodukten auf die Prävalenz von Adipositas und Diabetes Typ II (Abbildung 17).

Die bisherigen Ergebnisse über 10 Jahre an 3.157 schwarzen und weißen US-Amerikanern zeigen, dass mit zunehmender Häufigkeit der Aufnahme von Milchprodukten die Inzidenz an Fettsucht, Bluthochdruck und Störungen des Fettstoffwechsels sowie der Glucosetoleranz abnehmen. Die günstige Wirkung von Milchprodukten (Abbildung 17 und andere Ergebnisse) wird aufgrund der vielfältigen bioaktiven Inhaltsstoffe der Milch zukünftig weiterentwickelt, indem „Designerprodukte“ für spezifische Claims Marktreife erreichen (Abbildung 18).

Zusammenfassung

Folgende Veränderungen der Milchzusammensetzung sind aus der Sicht der Humanernährung in den nächsten Dekaden zu erwarten:

– *Proteinfraktion:*

Erhöhung des Anteils an Laktoferrin, Lysozym, ß-Casokinin-7, κ-Casein.

– *Lipidfraktion:*

Erhöhung des Anteils an Ölsäure, PUFA (Linolsäure bis 6 % der gesamten FAME, Linolensäure bis 3 % der gesamten FAME), ω-3-Fettsäuren (gecoatetes Fischöl), *trans*-Vaccensäure (*trans*-11 C18:1), Sphingomyelin sowie Verminderung des Anteils an *trans*-10-Octadecensäure.

– *CLA-Fraktion:*

Gesamt-CLA bis 2,5 % der gesamten FAME; maximal bis 6 %,
Isomerenverteilung:
cis-9, *trans*-11-Isomere > 80 % der gesamten CLA;
trans-11, *cis*-13 Isomere ~ 3 % der gesamten CLA;
trans-7, *cis*-9-Isomere ~ 2 % der gesamten CLA;
trans/trans-Isomere < 10 % der gesamten CLA
(Hypothesen: viel Linolsäure im Futter führt zu ansteigendem *trans*-11, *cis*-13-Gehalt; der Anteil an *trans*-10, *cis*-12 ist kaum erhöhbar aufgrund des abfallenden Fettgehalts)

– *Antioxidantien:*

Erhöhung des Anteils an Tocopherolen und Carotinoiden

Eine bereits erfolgte internationale Patentanmeldung (WO 94/19935) zeigt, dass Milchprodukte mit einem erhöhten CLA-Gehalt zukünftig eine Rolle spielen werden.

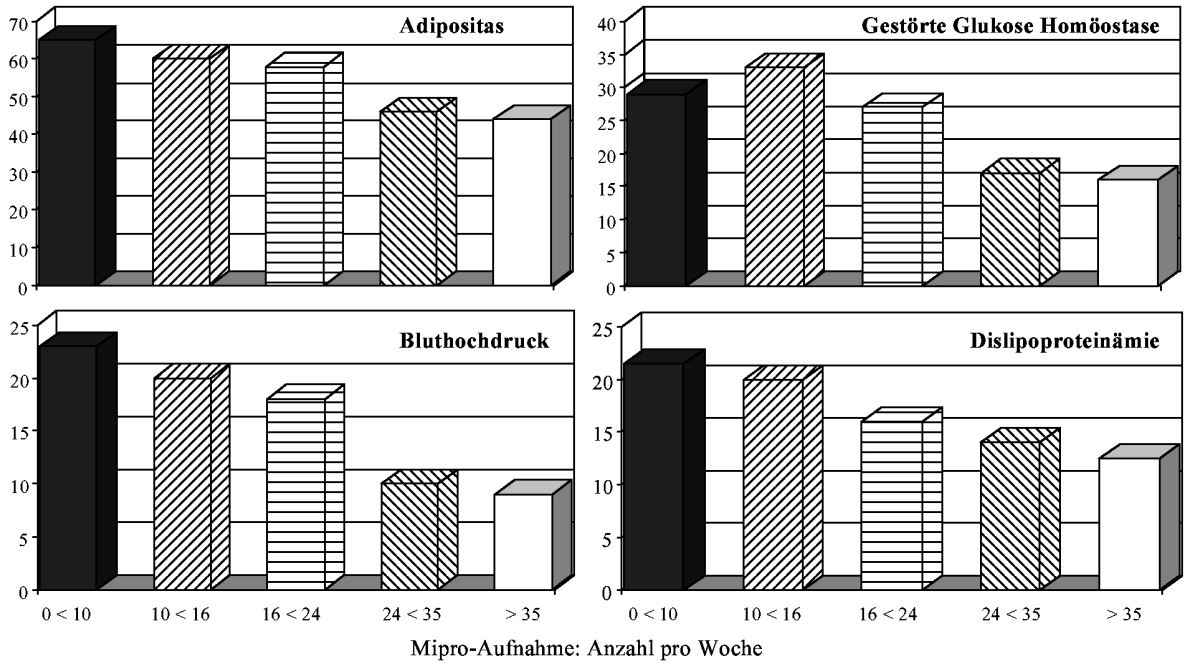


Abbildung 17
10 Jahre kumulative Inzidenz von Komponenten des Insulin-Resistenz-Syndroms in Abhängigkeit von der Gesamtaufnahme an Milchprodukten (Personen mit einem BMI< 25 kg/m^2; Pereira et al., 2002)

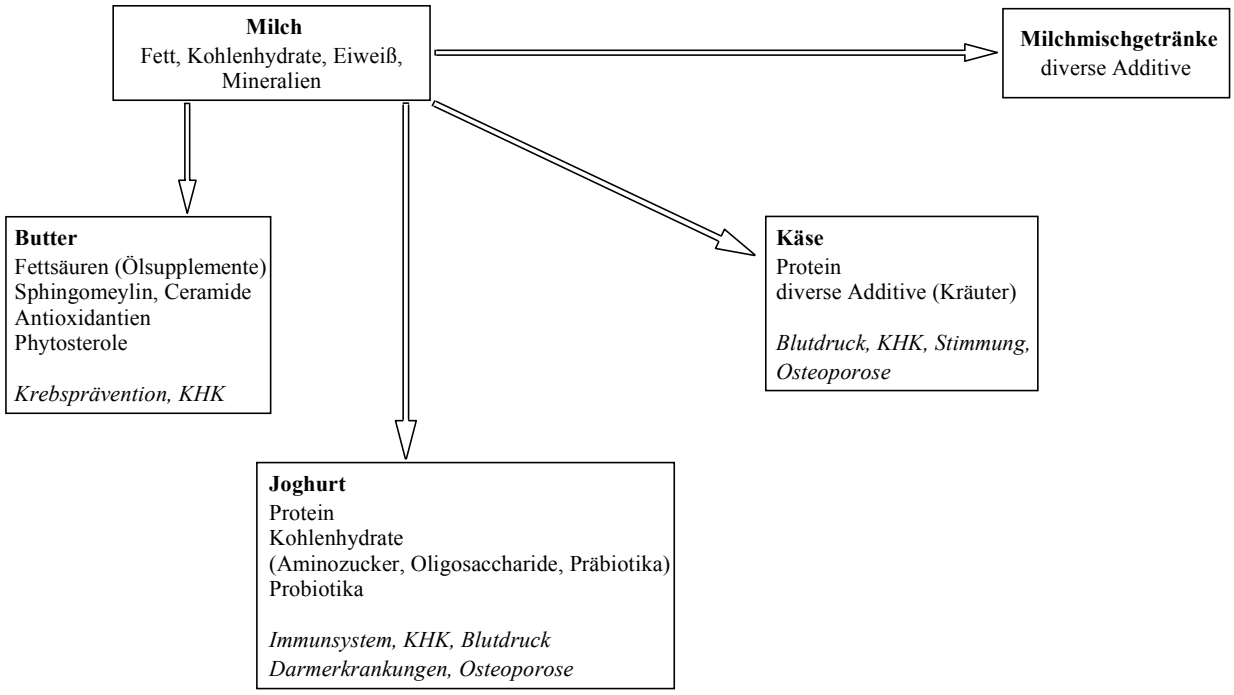


Abbildung 18
Milch und Milchprodukte als Functional Food

Literatur

Adlof RO, Duval S, Emken EA (2000): Biosynthesis of conjugated linoleic acid in humans. Lipids 35, 131-135

Bernal-Santos G, Perfield JW, Overton TR, Baumann DE (2001): Production responses of diary cows to dietary supplementation with conjugated linoleic acid (CLA) during the transition period and early lactation. J. Anim. Sci. 79, pp 82, pp 338

Berry D (2000): Blood-pressure reducing milk. Dairy Foods 101/12, 25

Cawood P, Wickens DG, Inverson SA, Braganza JM, Dormandy TL (1983): The nature of diene conjugation in human serum, bile and duodenal juice. FEBS Lett. 162, 239-243

Chilliard Y, Ferlay A, Doreau M (2001): Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. Elsevier Science 70, 31-48

Condain LA, Watkins BA, Florant GL, Kelher M, Rogers L., Li Y (2002): Fatty acids analysis of wild ruminant tissues evolutionary implications for reducing diet-related chronic disease. Eur. J. Clin. Nutr. 56, 181-191

Cook ME, Miller CC, Park Y, Pariza MW (1993): Immune modulation by altered nutrient metabolism control of immune-induced growth depression. Poultry Sci. 72, 1301-1305

Corl BA, Baumgard LH, Bauman DE (2000): Role of delta-9-desaturase in the synthesis of the anticarcinogenic isomer of CLA and other milk fatty acids. In: Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf. Ithaca, NY: Cornell Nutrition Conference (62nd). pp. 203-212

Corl BA, Chourinard PY, Dwyer DA, Bauman DE, Griinari JM, Nurmela KV (1998): Conjugated linoleic acid of milk fat of dairy cows originates in part by endogenous synthesis from *trans*-11 octadecenoic acid. J. Dairy. Sci. 81 (Suppl.1) 23, 233 (Abstr.)

Flachowsky G, Schaarmann G, Jahreis G, Schöne F, Richter GH, Böhme H, Schneider A (1997): Einfluß der Verfütterung von Ölsaaten und Nebenprodukten aus Ölsaaten auf die Vitamin-E-Konzentration in Tierprodukten. Fett/Lipid 99, 55-60

Fogerty AC, Ford GL, Svoronos D (1988): Octadeca-9,11-dienoic acid in foodstuffs and in the lipids of human blood and breast milk. Nutr. Rep. Int. 38, 937-944

Fritsche J, Steinhart H (1998): Amounts of conjugated linoleic acid (CLA) in German foods and evaluation of daily intake. Z. Lebensm.-Unters. Forsch. 206, 77-82

Giesy JG, Hanson TW, Haflinger HC, McGuire MA, Skarie CH, Cummings K (2000): Effect of rumen protected conjugated linoleic acid (CLA) on milk yield, fat and CLA content of milk fat in Holstein cows early in lactation. J. Diary Sci. 83, pp 163, pp 693

Griinari JM, Baumann DE, Chilliard Y, Peröjoki P, Nurmela K (2000): Dietary influences on conjugated linoleic acids (CLA) in bovine milk fat, 2000: 3rd meeting of the European section of AOCS: Oils, fats, from basic research to industrial applications. 18 – 21, Helsinki, Finland, p. 87

Ha YL, Grimm NK, Pariza MW (1987): Anticarcinogens from fried ground beef: heat-altered derivatives of linoleic acid. Carcinogenesis 8, 1881-1887

Harrison K, Cawood P, Inverson SA, Dormandy TL (1985): Diene conjugation pattern in normal serum. Life. Chem. Rep. 3, 41-44

Houseknecht KL, van den Heuvel JP, Moya-Camarena SY, Portocarrero CP, Peck LW, Nickel KP, Belury MA (1998): Dietary conjugated linoleic acid normalizes impaired glucose tolerance in the Zucker diabetic fatty fa/fa rat. Biochem. Biophys. Res. Commun. 244, 678-682

Jahreis G (1999a): Funktionelle Inhaltsstoffe aus tierischen Lebensmitteln. In: Kluthe R und Kasper H (Hrsg.): Lebensmittel tierischer Herkunft in der Diskussion. Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1-8

Jahreis G, Fritsche J, Kraft J (1999b): Species-dependent, Seasonal and Dietary Variation of CLA in Milk. In: Yurawecz M P, Mossoba MM, Kramer JKG, Pariza MW und Nelson GJ (Eds.): Advances in Conjugated Linoleic Acid Research, Vol. 1. Champaign, IL, AOCS Press. Chapter 16, 215-225

Jahreis G, Fritsche J, Möckel P, Schöne F, Möller U, Steinhart H (1999c): The potential anticarcinogenic conjugated linoleic acid, *cis*-9,*trans*-11 C18:2, in milk of different species: cow, goat, ewe, sow, mare, woman. Nutr. Res. 19, 1541-1549

Jahreis G, Kraft J (2002): Sources of conjugated linoleic acid in the human diet. Lipid Technol. 14, 29-32,

Kraft J, Griinari JM, Möckel P, Jahreis G (2001): Effects of CLA calcium salts on CLA content in milk lipids. 8. Symp. Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier, Jena, 217-222

Kraft J, Lebzien P, Flachowsky G, Möckel P, Jahreis G (2000): Duodenal infusion of conjugated linoleic acid mixture influences milk fat synthesis and milk CLA content in dairy cows. In: Agnew RE et al.: Milk Composition. Occ. Publ. Br. Soc. Anim. Sci. 25, 143-147

Lee KN, Kritchevsky D, Pariza MW (1993): Conjugated linoleic acid and atherosclerosis in rabbits. Atherosclerosis 108, 19-25

Mackle et al., personal communication

Medeiros SR, Oliveira DE, Aroeira MA, McGuire MA, Lanna DPD (2000): The effect of long-term supplementation of conjugated linoleic acid (CLA) to diary cows grazing tropical pasture. J. Diary Sci. 83, pp 169, pp 718

Munday JS, Thompson KG, James KAC (1999): Dietary conjugated linoleic acids promote fatty streak formation in the C57BL/6 mouse atherosclerosis model. Brit. J. Nutr. 81, 251-255

Offer N (2000): The effect of oil supplementation of a high-starch diet on levels of CLA and trans monoenes in bovine milk. CLA What's going on, No. 4, June 2000

Palmquist DL, Griinari JM (2001): Dietary fish oil plus vegetable oil maximizes trans-18:1 and rumenic acids in milk fat. Personal Communication

Pariza MW, Park Y, Cook ME, Albright K, Liu W (1996): Conjugated linoleic acid (CLA) reduces body fat. Experimental Biology 96, Washington DC, April 14-17 FASEB J., A 560

Park Y, Storkson JM, Albright KJ, Liu W, Pariza MW (1999): Evidence that the trans-10,cis-12 isomer of conjugated linoleic acid induces body composition changes in mice. Lipids 34, 235-241

Pereira MA, Jacobs DR, Van Horn L, Slattery ML, Kartashov AI, Ludwig DS (2002): Dairy consumption, obesity, and the insulin resistance syndrome in young adults - The CARDIA study. JAMA-J. Amer. Med. Ass. 287, 2081-2089

Perfield JW, Bernal-Santos G, Overton TR, Baumann DE (2001): Effects of dietary supplementation of rumen-protected CLA in diary cows during established lactation. J. Anim. Sci. 79, Suppl. 1/J, A 501

Piperova LS, Teter BB, Bruckental I, Sampugna J, Mills SE, Yurawecz MP, Fritsche J, Ku K, Erdman RA (2000):

Mammary lipogenic enzyme activity, trans fatty acids and conjugated linoleic acids are altered in lactating dairy cows fed a milk fat-depressing diet. J. Nutr. 130, 2568–2574

Reichardt W, Gernand E, Hartung H (1999): κ-Casein, Gehalt und Anteil am Casein bei Kuhmilch in Abhängigkeit von den Milchproteinpolymorphismen. Milchwiss. 54, 306-310

Ritzenthaler KL, McGuire MK, Falen R, Shultz TD, Dasgupta N, McGuire MA (2001): Estimation of conjugated linoleic acid intake by written dietary assessment methodologies underestimates actual intake evaluated by food duplicate methodology. J. Nutr. 131, 1548-1554

Salminen I, Mutanen M, Jauhiainen M, Aro A (1998): Dietary trans fatty acids increase conjugated linoleic acid levels in human serum. J. Nutr. Biochem. 9, 93-98

Santora JE, Palmquist DL, Roehrig KL (2000): Trans-vaccenic acid is desaturated to conjugated linoleic acid in mice. J. Nutr. 130, 208-215

Tischendorf F, Jahreis G, Möckel P, Schöne F (1999): Einfluß von Pansenpuffern auf den Milchfettgehalt und die Fettsäurenverteilung bei Fütterung von Rationen mit erhöhtem Anteil an einfach oder mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 8, 143

Bio- und Gentechnologie in der Milchproduktion: Projektionen für das Jahr 2025

Heiner Niemann*

1 Entwicklung von Tierzucht und Biotechnologie

Die Züchtung von Nutztieren hat in der Menschheitsgeschichte eine lange Tradition, die mit der Domestikation begann, indem der Mensch Tiere an seine Nähe gewöhnte. Mit den ihm jeweils zur Verfügung stehenden Möglichkeiten hat der Mensch ihm „nützliche Populationen“ vermehrt; dabei erfolgte die Auslese meist nach dem Exterieur (äußeren Erscheinungsbild) oder aufgrund spezieller Eignungen. Eine wissenschaftlich begründete Tierzucht existiert erst seit etwa 50 Jahren auf der Basis der Erkenntnisse der Populationsgenetik und Statistik. Dabei sind bereits recht frühzeitig biotechnologische Verfahren mit einbezogen worden. Herausragendes Beispiel ist die künstliche Besamung, die heute in Ländern mit einer entwickelten Tierzucht über 90 % aller geschlechtsreifen weiblichen Rinder erfasst und auch in der Schweinezucht stark im Zunehmen begriffen ist. Damit konnte das genetische Potenzial wertvoller Vatertiere wirksam in einer Population verbreitet werden. Aus einem Bullenejakulat lassen sich durchschnittlich etwa 200 bis 300 tiefgefriertaugliche Besamungsportionen herstellen; beim Eber sind es nur 10 bis 20 Portionen, die zudem meist frisch zur Insemination verwendet werden. In den 80er Jahren ist dann der Embryotransfer in die züchterische Praxis überführt worden. Damit konnte erstmals auch das genetische Potenzial weiblicher Zuchttiere besser ausgenutzt werden. Die bisherige züchterische Arbeit mit dem Einsatz von künstlicher Besamung und Embryotransfer oder anderen biotechnologischen Verfahren hat zu den bekannten beachtlichen Leistungssteigerungen bei unseren Nutztieren geführt. So ist bei der Kuh die Milchleistung um jährlich 4 % gestiegen. Drei wesentliche Nachteile sind jedoch zu berücksichtigen (Wheeler and Campion, 1993):

1. Der genetische Fortschritt ist mit 1 bis 3 % pro Jahr relativ langsam.
2. Es ist nicht möglich, gewünschte Eigenschaften von unerwünschten Merkmalen zu trennen
3. Ein gezielter Transfer genetischer Informationen zwischen verschiedenen Spezies ist nicht möglich.

Mit den in der Entwicklung begriffenen neuen biotechnologischen Verfahren werden diese Begrenzungen der bisherigen züchterischen Arbeit zu überwinden sein. Unter dem Überbegriff „Biotechnologie bei Nutztieren“ werden heute im Wesentlichen reproduktionsbiologische und molekularbiologische Verfahren zusammengefasst. Im Bereich der Reproduktionsbiologie werden dazu gezählt:

1. künstliche Besamung (KB)
2. Brunstsynchronisation
3. Geburtssteuerung
4. Embryotransfer (ET)
5. Kryokonservierung von Gameten und Embryonen
6. In-vitro-Produktion von Embryonen
7. Klonen (Embryosplitting und Kerntransfer)
8. Geschlechtsbestimmung (Sexing)

Auf molekularbiologischer Seite sind zu nennen:

1. Genomanalyse
   - Sequenzierung
   - Genkartierung
   - Einzelgenanalyse
   - Polymorphismen
2. molekulare Diagnostik
   - genetische Defekte (MHS, BLAD, etc.)
   - genetische Abstammung
   - genetische Diversität
   - Geschlechtsbestimmung bei Embryonen
3. funktionelle Genomik
   - Expressionsmuster
   - Gen-Interaktionen
4. transgene (Mikroinjektion, Transfektion, homologe Rekombination)
   - Additiv (Knock-in)
   - Knock-out

Die Biotechnologie bei landwirtschaftlichen Nutztieren weist einen ausgeprägten interdisziplinären Charakter auf, indem sie u. a. Elemente der Anatomie, der Gynäkologie und Geburtshilfe,

* Prof. Dr. Heiner Niemann, Forschungsbereich Biotechnologie, Institut für Tierzucht und Tierverhalten (FAL) Mariensee, 31535 Neustadt, Germany.

Endokrinologie und Physiologie, Andrologie, Ultraschalltechnologie, Biochemie, Zellbiologie und Molekularbiologie beinhaltet. In der konsequenten Weiterentwicklung der Bio- und Gentechnologie mit dem Ziel eines Einsatzes in der züchterischen Praxis wird ein wichtiges Hilfsmittel gesehen, um den Herausforderungen an die Nutztierhaltung in der Zukunft zu begegnen.

Im Folgenden werden Entwicklungsstand und Anwendungsperspektiven einiger biotechnologischer Verfahren näher erläutert und im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit in der Milchviehhaltung im Jahre 2025 betrachtet.

2 Embryotransfer

Der Begriff „Embryotransfer“ umfasst bei allen landwirtschaftlichen Nutztieren die folgende Sequenz von Vorgängen:

1. Auswahl der Spendertiere
2. Auslösung der Superovulation
3. zeitgerechte Besamungen
4. Gewinnung der Embryonen
5. Beurteilung der Entwicklungsfähigkeit der Embryonen
6. Auswahl und Vorbereitung von Empfängertieren
7. Transfer der Embryonen

Die Superovulation mit eCG oder FSH stellt trotz intensiver Forschungsarbeiten in den letzten 25 Jahren immer noch den limitierenden Faktor bei der Anwendung des Embryotransfers dar. Dies wird deutlich in einer starken individuellen Variabilität auf die standardisierte Behandlung sowie einem stark variierenden Anteil in der Befruchtung und in der Qualität der Embryonen (Armstrong, 1993). Es wurde eine Vielzahl von Einflussfaktoren identifiziert; besonders bedeutsam scheint die An- oder Abwesenheit eines dominanten Follikels (d. h. Follikelgröße > 10 mm) zu sein. Die Auslösung einer Superovulation in Abwesenheit eines solchen dominanten Follikels führt zu erheblich besseren Ergebnissen als bei dessen Anwesenheit. Der große Follikel kann mit Hilfe der Ultraschall-geleiteten Punktion sicher erkannt und entfernt werden (Bungartz und Niemann, 1994).

Gewinnung und Transfer von Embryonen erfolgen beim Rind heute unblutig mit Hilfe spezieller Katheter, die unter rektaler Kontrolle bis in die Gebärmutterhornspitze vorgeschoben werden. Bei optimalem Transferverlauf kann mit einer Trächtigkeitsrate von etwa 55 bis 65 % gerechnet werden, was in etwa den Erfolgsquoten nach einmaliger künstlicher Besamung entspricht. Statistisch betrachtet, können also pro erfolgreiche Spülung etwa 2,5 bis 3 Kälber erzeugt werden (Niemann und Meinecke, 1993).

Der Embryotransfer ist beim Rind heute in die züchterische Praxis fest integriert und weltweit sind im Jahr 2000 ca. 530.000 Embryonen übertragen worden, davon etwa die Hälfte nach Tiefgefrieren und Auftauen. Der Schwerpunkt der Anwendung liegt in Nordamerika (45 %) und Europa (27 %). Innerhalb von Europa werden in Frankreich, den Niederlanden und Deutschland die meisten Embryotransfers durchgeführt (Thibier, 2001). Der Embryotransfer wird heute bei den besten weiblichen Tieren einer Population eingesetzt. Die Mehrheit der Besamungsbullen ist über Embryotransferverfahren generiert worden. Die Vorteile des Embryotransfers liegen in der verbesserten Ausnutzung des weiblichen Keimzellpotenzials, der Möglichkeit mehr Nachkommen von wertvollen Spendertieren zu erhalten, Nachkommen auch von „unfruchtbaren“ Spendern zu erstellen, im Bereich der Hygiene (da die intakte Zona pellucida eine besonders wirksame Barriere gegenüber Krankheitserregern verschiedenster Art ist), der wesentlichen Erleichterung des internationalen Austausches von Zuchtmaterial, der Verkürzung des Generationsintervalls, sowie in der Möglichkeit der Genkonservierung und der Forschung an Oozyten und Embryonen. Der Embryotransfer ist dementsprechend eine Basistechnologie für viele der anderen Biotechnologien (Niemann und Meinecke, 1993).

3 Kryokonservierung von Oozyten und Embryonen

Durch intensive Forschungsarbeiten sind heute verschiedene methodische Ansätze zum Gefrieren für die Langzeitkonservierung von Embryonen, insbesondere beim Rind, verfügbar, die auch in der Praxis eingesetzt werden. Rinderembryonen können mit kontrollierten Tiefgefrierverfahren oder durch Vitrifikation erfolgreich kryokonserviert werden (Niemann, 1991). Letzteres beinhaltet eine kurzzeitige Äquilibration in hohen Konzentrationen an penetrierenden und nicht penetrierenden Gefrierschutzmitteln (3 bis 8 molar = M) und Makromolekülen, was bei direkter Überführung in flüssigen Stickstoff (-196° C) zur Ausbildung einer glasähnlichen Struktur ohne Eiskristalle führt. Die Embryonen müssen dann auch sehr schnell aufgetaut werden, beispielsweise durch Überführung in warmes Wasser oder in Luft.

Ein gebräuchliches kontrolliertes Gefrier- und Auftauverfahren beinhaltet die Zugabe des Gefrierschutzmittels, das Verpacken der Embryonen in Gefrierbehälter (feine Pailetten), deren Überführung in eine Gefriermaschine (meistens ein Alkoholbad), die Auslösung der Kristallisation (= Seeding), gefolgt von einer langsamen Kühlungsphase mit 0,3°/Min. bis -30 bis -40° C, der Überführung in flüssigen Stickstoff (-196° C), das Auftauen der Proben und die Entfernung des Kryoprotektivums. Aufgrund seiner geringen Toxizität und schnellen Penetrationsfähigkeit wird heute vielfach Ethylenglykol in einer Konzentration von etwa 1,5 bis 2,0 M als Gefrierschutzmittel eingesetzt. Dies erlaubt es auch, die Embryonen direkt nach dem Auftauen zu übertragen, wobei das Gefrierschutzmittel in der Gebärmutter des Empfängertieres ausverdünnt wird (Voelkel und Hu, 1992). Bei anderen Gefrierschutzmitteln (Glycerin, DMSO, u. a.) ist aufgrund der erheblichen osmotischen Belastungen eine Entfernung des Kryoprotektivums vor Übertragung im Labor erforderlich, was den Einsatz unter Feldbedingungen komplizieren kann. Die durchschnittlichen Überlebensraten, basierend auf morphologischer Beurteilung, liegen zwischen 80 und 100 % bei Rinderembryonen im Morula- und Blastozystenstadium; nach Transfer solcher Embryonen können Trächtigkeitsraten zwischen 50 und 60 erreicht werden (Niemann, 1991). Nach Vitrifikation liegen die Überlebensraten noch etwa 10 bis 15 % niedriger. Interessanterweise scheinen sich insbesondere in vitro produzierte Rinderembryonen mit diesem Verfahren besser einfrieren zu lassen als mit dem kontrollierten Gefrierverfahren (Sommerfeld und Niemann, 1999). Weibliche Keimzellen (Oozyten) lassen sich heute noch bei keiner landwirtschaftlichen Nutztierspezies mit ausreichend hohen Erfolgsquoten einfrieren (Niemann, 1995).

4 In-vitro-Produktion von Embryonen

Die In-vitro-Produktion (IVP) von Embryonen beinhaltet die In-vitro-Reifung, Befruchtung und Kultivierung bis zu transfertauglichen Entwicklungsstadien (Lucas-Hahn und Eckert, 1996). Dieses Verfahren ist insbesondere beim Rind sehr weit entwickelt und findet bereits Anwendung in der Praxis. Im Jahr 2000 wurden ca. 42.000 Übertragungen mit in vitro produzierten Rinderembryonen unter Feldbedingungen registriert (Thibier, 2001). Die Oozyten können entweder aus Schlachthofovarien oder durch ultraschallgeleitete Follikelpunktion (OPU; Abbildung 1) sogar wiederholt von individuellen Spendertieren gewonnen werden (Bungartz et al., 1995).

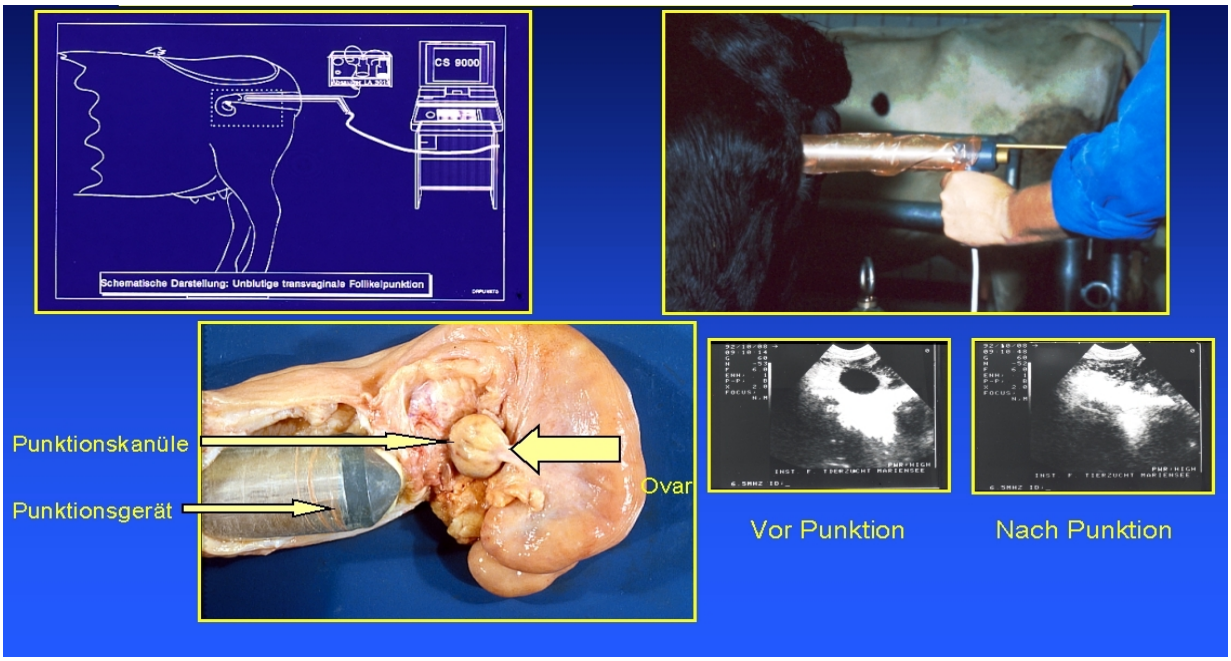


Abbildung 1
Durchführung der transvaginalen Follikelpunktion beim Rind

Bedingt durch das kontinuierlich stattfindende Follikelwachstum sind zu jedem Zeitpunkt Follikel in ausreichender Größe (> 2 mm) zur Punktion vorhanden. Für das OPU wird ein Schallkopf intravaginal eingesetzt, die Ovarien manuell von rektal aus direkt vor den Schallkopf gehalten, die Punktionsnadel durch die Vaginalwand nacheinander in alle sichtbaren Follikel vorgeführt und die Follikelflüssigkeit mit der Oozyte abgesaugt. Die Oozyten werden anschließend morphologisch beurteilt und intakt eingestufte Oozyten zur In-vitro-Reifung gegeben. OPU kann über längere Zeiträume wiederholt bei einem Tier durchgeführt werden, ohne dass Gesundheit und Reproduktionsgeschehen beeinträchtigt werden. Diese Technologie kann erfolgreich bei juvenilen Tieren (allerdings mit noch geringeren Erfolgsquoten), Tieren im ersten Drittel der Trächtigkeit, trockenstehenden und laktierenden (sogar in der Puerperalphase) sowie infertilen Kühen eingesetzt werden. Die Effizienz kann bereits höher sein als in konventionellen Superovulations-/Embryotransferprogrammen. In einem konventionellen Embryotransferprogramm können bei sechs Spülungen im Jahr etwa 21 bis 25 Embryonen gewonnen werden, mit denen 10 bis 15 Trächtigkeiten etabliert werden können. Bei OPU/IVP können bei zweimal wöchentlichem Einsatz unter Zugrundelegung von 100 OPU-Einsätzen schließlich etwa 60 transfertaugliche Embryonen in vitro produziert werden, mit denen 30 bis 35 Trächtigkeiten zu erreichen sind.

Aus Follikeln mit einem Durchmesser > 2 mm können entwicklungsfähige Oozyten isoliert und in vitro erfolgreich maturiert werden (Pavlok et al., 1992). Die Oozyten sind im Follikel und bis kurz nach der Befruchtung von einem dichten Mantel an Cumuluszellen umgeben und werden deshalb auch als Cumulus-Oozyten-Komplexe bezeichnet (COK). Die COK werden dann unter geeigneten Kulturbedingungen für ca. 24 Stunden bis zur Befruchtungsreife kultiviert, danach erfolgt für 15 bis 18 Stunden eine Koinkubation mit kapazitierten Spermien, bevor wiederum unter geeigneten Kulturbedingungen die Weiterentwicklung bis zur Blastozyste erfolgen kann (Abbildung 2).

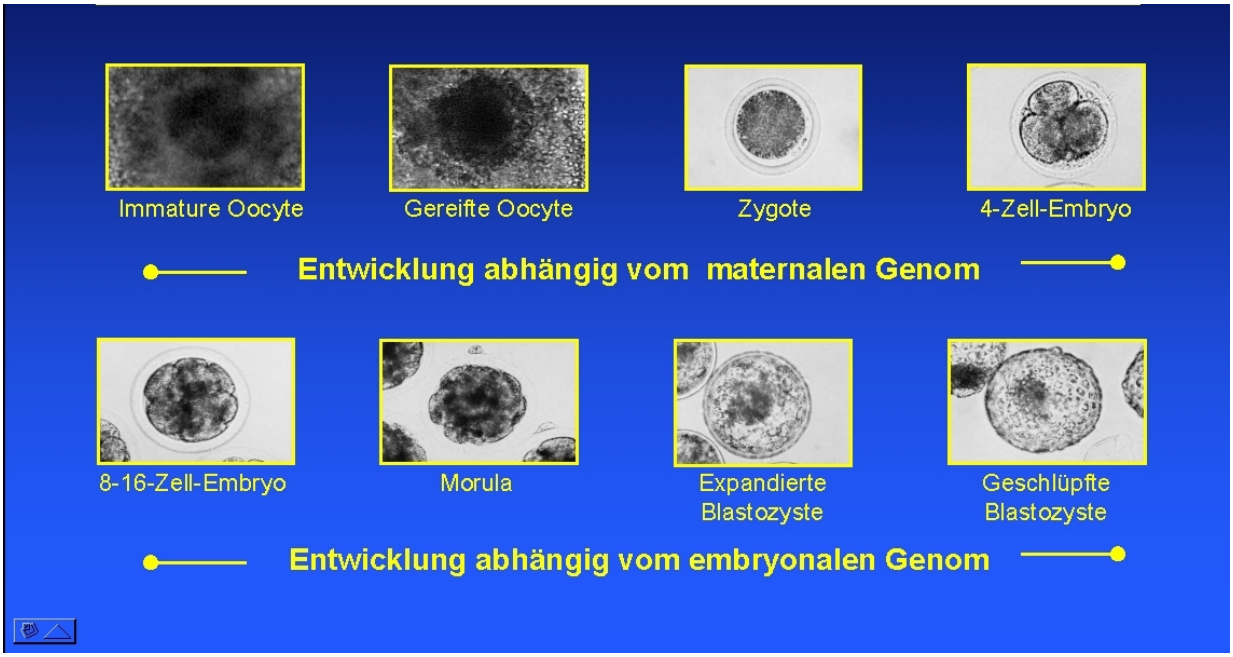


Abbildung 2
Oocytenreifung und embryonale Frühentwicklung beim Rind

Die morphologische Qualitätsbeurteilung der Oozyten anhand von Dichte und Anzahl der Cumuluszellen liefert ausreichend sichere Aussagen zum Entwicklungspotential der Oozyten, was durch Kultivierung in Gruppen noch verbessert werden kann (Khurana und Niemann, 2000). Am Ende der In-vitro-Reifungsphase erreichen die Oozyten den befruchtungsbereiten Zustand. In der Eizelle laufen während dieser Phase umfangreiche metabolische und strukturelle Veränderungen ab, die mit der Ausschleusung des 1. Polkörperchens und der Anordnung der Chromosomen in der Metaphasenplatte abgeschlossen werden. Außerdem zeigen die Cumuluszellen eine starke Expansion. Die Spermien

müssen auch in vitro die Phasen der Kapazitation und der Akrosomenreaktion durchlaufen, um eine Eizelle regulär befruchten zu können. Während es sich bei der Kapazitation im Wesentlichen um biochemische Veränderungen handelt, stellt die Akrosomenreaktion eine umfangreiche morphologische Umstrukturierung des Spermienkopfes dar. Durch Zugabe des Glykosaminoglykans Heparin kann die Akrosomenreaktion bei Bullenspermien in vitro induziert und der Anteil befruchtungsfähiger Spermien wesentlich erhöht werden. Nach der Kokultivierung von Oozyten und Spermien werden die Cumuluszellen entfernt und die Eizellen bis zum gewünschten Entwicklungsstadium im geeigneten Medium kultiviert (Abbildung 2). Die Gesamtphase kann 8 bis 12 Tage dauern. Die durchschnittlichen Erfolgsquoten liegen bei über 90 % für die In-vitro-Reifung, 70 bis 85 % für die In-vitro-Befruchtung und 30 bis 40 % für die Entwicklung bis zur Blastozyste. Die in vitro produzierten Embryonen können in etwa 40 bis 60 % der Fälle zur Trächtigkeit führen (Trounson et al., 1994; Bavister, 1995; Lucas-Hahn und Eckert, 1996).

Zwischen in vivo und in vitro erzeugten Embryonen bestehen erhebliche Unterschiede bei vielen Eigenschaften. In vitro produzierte Embryonen können sich von den entsprechenden in vivo generierten Rinderembryonen in Bezug auf Morphologie (Farbe, Zellzahl, Zellgröße), zeitlichen Ablauf der Entwicklung (schneller oder langsamer), Empfindlichkeit gegenüber Kühlung oder Gefrieren, Stabilität der Zona pellucida oder Eigenschaften des embryonalen Metabolismus unterscheiden (Niemann und Wrenzycki, 2000). Nach Transfer von IVP-Embryonen ist die anfängliche Trächtigkeitsrate ähnlich wie mit in vivo gewonnenen Embryonen. Es wird jedoch ein erhöhter Anteil embryonaler Mortalität beobachtet, und etwa ein Drittel der Nachkommen kann Symptome des „Large Calf Syndroms“ zeigen. Kennzeichnend dafür sind eine verlängerte Trächtigkeitsdauer, sowie teilweise erhebliche Übergröße, verbunden mit einer Lebensschwäche der geborenen Jungtiere. Als Hauptursache werden Veränderungen im Expressionsmuster entwicklungsrelevanter Gene in frühen Entwicklungsphasen des Embryos angesehen. Wir haben inzwischen mehrere Gene identifiziert, die differentiell zwischen in vivo und in vitro generierten Embryonen exprimiert werden (Niemann und Wrenzycki, 2000; Niemann et al., 2002).

Ein limitierender Faktor für die praktische Anwendung ist ferner die starke Variabilität in der Eignung einzelner Bullen oder auch von einzelnen Ejakulaten einzelner Bullen für den Vorgang der In-vitro-Fertilisation. Dies macht eine sorgfältige Anpassung der Spermien an die jeweiligen Kulturbedingungen erforderlich (Kreysing et al., 1997). Mit Hilfe der In-vitro-Produktion können größere Mengen an Embryonen für die Grundlagenforschung bereitgestellt werden, daneben besteht die Möglichkeit zur kostengünstigen Produktion von Fleischkälbern aus Milchviehrassen, sowie bei Verwendung geschlechtsgetrennter Spermien die gezielte Erstellung männlicher oder weiblicher Nachkommen. Auch für die Erhaltung bedrohter Wild- und Nutztierarten kann die In-vitro-Produktion erfolgreich eingesetzt werden, was am Beispiel des Moufflons gezeigt wurde (Ptak et al., 2002).

5 Erstellung genetisch identischer Nachkommen (Klonen)

5.1 Mikrochirurgische Embryonenteilung

Durch mikrochirurgische Teilung von Embryonalstadien können identische (= monozygote) Zwillinge erstellt werden, die den kleinsten möglichen Klon darstellen. Mit den heutigen Verfahren können Morula- und Blastozystenstadien mikrochirurgisch so geteilt werden, dass sich beide Hälften mit gleich großen Chancen weiter entwickeln können (Brem, 1986; Williams et al., 1984). Dazu werden die Embryonen mit Hilfe eines geeigneten Mikromessers, einer Glasnadel oder eines anderen Schneidegerätes unter 100- bis 200-facher mikroskopischer Vergrößerung exakt in der Mitte durchgeteilt. Bei der Blastozyste ist darauf zu achten, dass die innere Zellmasse, aus der sich der Fetus entwickelt, in zwei möglichst gleich große Hälften geteilt wird (Reichelt und Niemann, 1994; Abbildung 3). Beim Rind ist das Verfahren besonders effektiv; aus der Teilung von 50 Embryonen können 100 Hälften entstehen, die nach Transfer wiederum 50 bis 55 Trächtigkeiten ergeben können. Darunter kann ein Anteil von 25 bis 35 % monozygoter Zwillinge sein (Saito und Niemann, 1993). Durch die mikrochirurgische Teilung kann also eine deutliche Effizienzsteigerung gegenüber dem Transfer nicht mikrochirurgisch geteilter Embryonen erreicht werden. Ähnliche Erfolgsraten werden für die kleinen Wiederkäuer berichtet, während beim Schwein die Entwicklungsfähigkeit der Embryonenhälften nach mikrochirurgischer Teilung deutlich reduziert ist, und auch der Anteil monozygoter Zwillinge ähnlich wie bei Kaninchen und Mäusen nur bei 1 bis 2 % liegt (Reichelt und Niemann, 1994). Die Identifizierung der monozygoten Zwillinge ist beim Rind bei korrekter Versuchsanstellung relativ einfach, während beim Schwein

Blutgruppenanalysen oder DNA-Fingerprinting zur positiven Identifizierung monozygoter Zwillinge eingesetzt werden müssen.

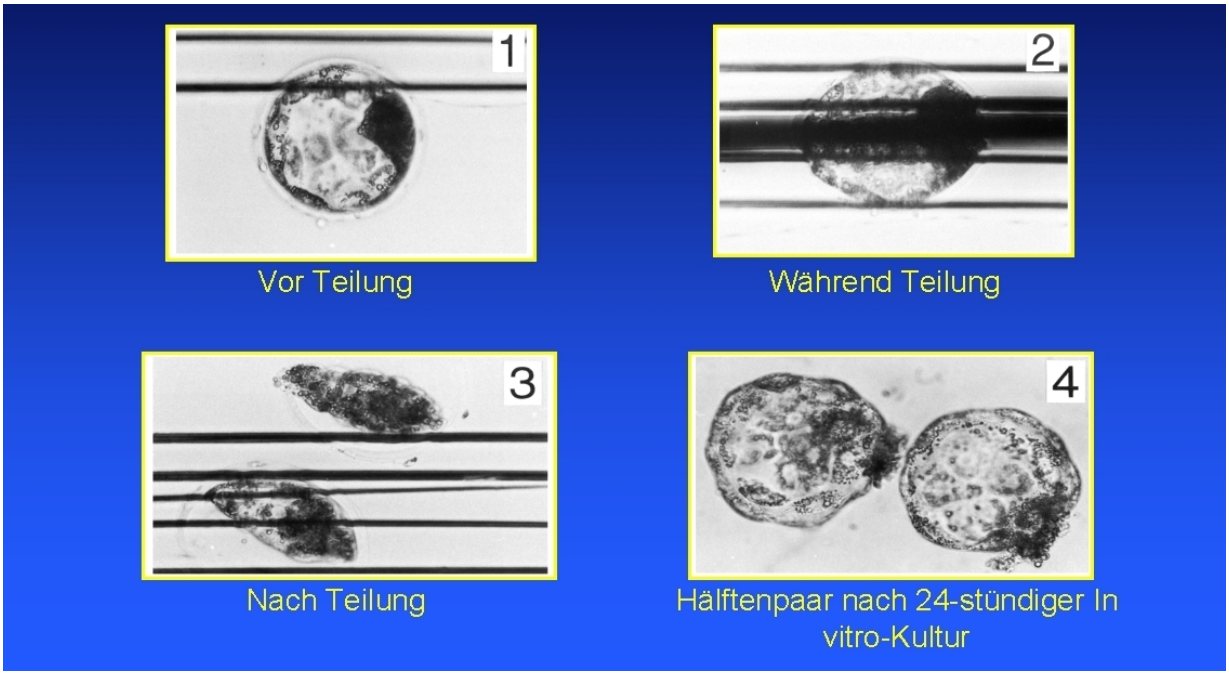


Abbildung 3
Mikrochirurgische Teilung einer Blastozyste

5.2 Kerntransfer

Größere Anzahlen identischer Nachkommen können nur mit Hilfe des somatischen Kerntransfers erstellt werden. Dabei wird eine Spenderzelle in eine vorher entkernte Oozyte übertragen. Beide Anteile werden durch kurzzeitige elektrische Impulse miteinander verschmolzen; der übertragene Kern wird zurückprogrammiert und kann dann eine neue Entwicklung beginnen. Dieses Verfahren wurde bereits 1986 erstmalig beim Schaf mit embryonalen Zellen erfolgreich eingesetzt (Willadsen et al., 1986; Prather and First, 1990). In den folgenden Jahren hat es umfangreiche Untersuchungen beim Rind gegeben, so dass mehrere tausend Kälber nach Kerntransfer mit embryonalen Zellen geboren wurden. Diese Untersuchungen haben gezeigt, dass ähnlich wie bei der IVP bei etwa 25 bis 30 % der geborenen Kälber verlängerte Trächtigkeiten, verbunden mit einer Übergröße der Nachkommen („Large calf syndrome“) auftreten können, was zu erheblichen Geburtskomplikationen führen kann (Bondioli et al., 1990; Willadsen et al., 1991).

Der erfolgreiche Kerntransfer unter Verwendung somatischer Spenderzellen wurde erstmals 1997 berichtet (Schaf „Dolly“; Campbell et al., 1996; Wilmut et al., 1997). Bis heute ist eine Vielzahl somatischer Zellen (z. B. Fibroblasten, Haut-, Muskel-, Cumulus-, Granulosazellen, Leukozyten, Leberzellen, Sertolizellen, Euterepithelzellen) als Spenderzellen eingesetzt worden (Brem und Kühholzer, 2002). Durch Serumentzug oder chemische Zellzyklusregulatoren kann der Anteil an Spenderzellen im am besten geeigneten Zellzyklusstadium (G_1/G_0) signifikant gesteigert werden (Kues et al., 2000). Nur die gereifte Metaphase-II-Oozyte bietet nach derzeitigem Erkenntnisstand die geeignete Umgebung zur Rückprogrammierung differenzierter somatischer Zellen. Besondere Bedeutung haben Fibroblasten als Spenderzellen erlangt, die über längere Zeiträume in der In-vitro-Kultur gehalten werden können und durch Transfektion genetisch veränderbar sind. Mit genetisch modifizierten fetalen Fibroblasten als Spenderzellen sind bei Rind und Schaf transgene Nachkommen erstellt worden (Cibelli et al., 1998b; Schnieke et al., 1997). Ein funktionelles Kerntransferverfahren erlaubt die Erstellung größerer Gruppen identischer Nachkommen für spezifische Produktionszwecke (Kato et al., 1999). Aufgrund der noch geringen Effizienz scheint es aber zur Zeit vor allem für den Einsatz zur Verbesserung des Gentransfers besonders geeignet. Weitere, biomedizinisch interessante An-

wendungsmöglichkeiten könnten im Tissue Engineering (Gewebeersatz aus somatischen Zellen) und in der Xenotransplantation liegen (Di Berardino, 2001). Auch die Erhaltung bedrohter Wild- und Nutztierarten ist mit Hilfe des Kerntransfers möglich (Loi et al., 2001).

6 Transgene Nutztiere

Das Säugergenom besteht aus etwa 3 Mrd. Basenpaaren, die ca. 100.000 bis 140.000 Gene beinhalten. Beim Menschen ist das gesamte Genom kürzlich vollständig sequenziert worden. Bei einer Reihe von Organismen (Bakterien, Hefe, Würmern, Drosophila, etc.) mit kleinerem Genom ist dies ebenfalls gelungen; kürzlich ist auch das Mausgenom vollständig sequenziert worden. Im Gegensatz dazu ist bei Nutztieren nur von wenigen Genen (< 1000) Sequenz und Lokalisation bekannt. Da zwischen dem Genom von Säugern, aber auch von anderen Organismen, teilweise ausgedehnte Homologien bestehen, wird die Identifizierung neuer Gensequenzen bei Nutztieren durch die Fortschritte im humanen Genomprojekt erheblich erleichtert. Bisher sind aber die genomanalytischen Kenntnisse bei landwirtschaftlichen Nutztieren noch bruchstückhaft und erlauben nur eine begrenzte praktische Anwendung für landwirtschaftlich relevante Merkmale im engeren Sinne.

Unter „Gentransfer“ wird die Übertragung fremder Protein-kodierender DNA-Abschnitte in das Genom von Empfängerzellen mit dem Ziel einer aktiven Beteiligung des Fremdgens an der Proteinsynthese der jeweiligen Empfängerzellen verstanden (Espanion und Niemann, 1996). Tiere mit Integration des Fremdgens nach Gentransfer in das eigene Genom werden als 'transgen' bezeichnet. Für den Gentransfer werden Genkonstrukte verwendet, wobei es sich um natürlich oder künstlich gebildete Kombinationen von regulatorischen (Promotoren, Enhancer) und proteinkodierenden (= Strukturgen) DNA-Abschnitten handelt. Der Einbau von Fremd-DNA in das Genom einer Empfängerzelle wird „Integration“ genannt, die Umsetzung des spezifischen genetischen Codes wird als 'Genexpression' bezeichnet, die sowohl auf mRNA- als auch auf der Proteinebene bestimmt werden kann. Die Erstellung transgener Nutztiere ist bis vor kurzem ausschließlich über Mikroinjektion in den Vorkern von Zygoten möglich gewesen (Pursel und Rexroad, 1993; Espanion und Niemann, 1996). Dabei werden ca. 2pl (10^{-12}l) DNA-Lösung mit etwa 3.000 bis 5.000 Kopien in einen Vorkern mikroinjiziert. Die Zygoten werden aus den Eileitern kurz nach der Befruchtung gewonnen, wobei die beiden Vorkerne noch voneinander getrennt sind. Im nachfolgenden Vorgang der Syngamie (Verschmelzen der Vorkerne) erfolgt die Rekombination des maternalen und paternalen genetischen Materials. Zu diesem Zeitpunkt besteht somit eine erhöhte Chance auf einen Einbau der mikroinjizierten DNA-Sequenzen. Die Vorkerne müssen beim Rind durch kurzzeitige Zentrifugation der Zygoten sichtbar gemacht werden, da sie durch ein dichtes Plasma verdeckt sind. Der gesamte Vorgang ist ineffizient und lediglich < 5 % der geborenen Jungtiere werden als 'positiv transgen' identifiziert. Der Nachweis der Integration des Transgens wird meist aus einer Gewebe- oder Blutprobe mit Hilfe einer PCR oder über Southern Blot geführt. Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit des Transgens werden jedoch meist erst möglich, wenn die transgenen Tiere herangewachsen sind. Die Untersuchungen werden im Allgemeinen auf der Ebene der mRNA (RT-PCR, Northern Blot) und des Proteins (Western Blot, spezifische Tests) durchgeführt. Tiere, die das Transgen fest integriert haben, vererben diese Eigenschaft nach den Mendel’schen Regeln an ihre Nachkommen (Transmission), so dass transgene Linien erstellt werden können. Bei diesen Verfahren des Gentransfers erfolgt der Einbau zufällig und die Expression des Gens ist von Positionseffekten abhängig, d. h. wird durch das umgebende Wirtsgenom beeinflusst. Das lange Generationsintervall macht die Erstellung transgener Nutztiere zu einem sehr langwierigen Unterfangen (Pursel und Rexroad, 1993; Espanion und Niemann, 1996).

Die allermeisten Nutztiere sind bisher noch mit Hilfe der Mikroinjektion erstellt worden und haben insbesondere Wachstumshormongenkonstrukte erhalten (Hammer et al., 1985; Pursel et al., 1989). Mit Hilfe des Kerntransfers können vorhandene Tiere mit transgenen Eigenschaften gezielt vermehrt werden. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die transgene Eigenschaft in identischer Form bei den geklonten Nachkommen vorhanden ist und nicht durch die Neukombination des genetischen Materials, wie sie während Meiose und/oder Befruchtung erfolgt, modifiziert wird. Das Klonen erlaubt die direkte Verwendung geprüfter transgener Foundertiere, die meist noch hemizygot für das jeweilige Transgen sind. Dadurch würde eine zeitaufwendige Rückkreuzung zur Erstellung transgener Linien überflüssig werden.

Die Verfügbarkeit geeigneter Zellen oder Zelllinien und deren Verwendung im Kerntransfer kann die Erstellung transgener Tiere signifikant verbessern. In der In-vitro-Kultur gehaltene Zellen können durch Elektroporation oder andere Verfahren

genetisch verändert werden. Anschließend kann in vitro der Erfolg des DNA-Transfers geprüft, so dass nur Zellen mit korrekter Integration und maximaler Expression des Transgens für den Kerntransfer verwendet werden, und alle Nachkommen transgen sind (Abbildung 4). Auch wenn bei der Transfektion die Integration des Transgens wie bei der Mikroinjektion zufällig erfolgt, kann ein wesentlicher Teil der Prüfphase statt wie bisher beim Tier im Labor erfolgen. Die Validität dieses Konzepts ist durch der Erstellung transgener Lämmer und Kälber vor kurzem gezeigt worden (Schnieke et al., 1997; Cibelli et al., 1998b). Insbesondere fetale Fibroblasten haben sich für die Transfektion als geeignet erwiesen. Die Vorteile dieses methodischen Ansatzes gegenüber der Mikroinjektion liegen in einer deutlichen Zeit- und Kostenersparnis bei der Generierung transgener Nutztiere.

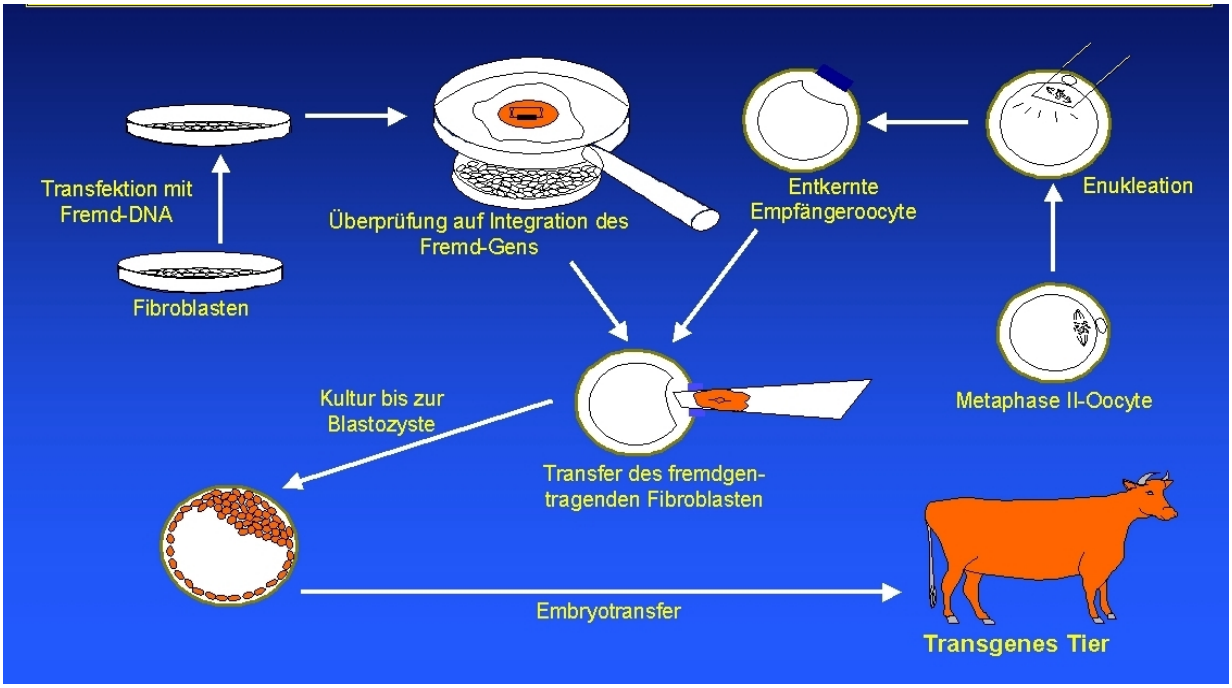


Abbildung 4
Erstellung transgener Tiere mit Hilfe des Kerntransfers

Weitere qualitative Verbesserungen sind durch die Anwendung homologer Rekombinationstechniken zu erzielen (Niemann und Kues, 2000). Zahlreiche Studien bei der Maus haben gezeigt, dass embryonale Stammzellen (ES-Zellen) genetisch über Techniken der homologen Rekombination gezielt verändert werden können. Wenn die Ausschaltung eines Gens beabsichtigt ist, wird ein homologer Targeting-Vektor verwendet, der ein Antibiotikumgen trägt, das die Basensequenz des endogenen Gens unterbricht. Das Konstrukt trägt die Sequenz für das gewünschte Strukturgen, wenn die Expression eines zusätzlichen Proteins angestrebt wird. Der Vektor wird gegen das endogene Gen ausgetauscht, was zu sogenannten „Knock-out-Tieren“ (Ausschaltung eines Gens) oder transgenen (Knock-in) Tieren führt. Dabei wird gezielt ein bestimmter Genort angesteuert, da das Targeting-Konstrukt nur die homologen Sequenzen erkennt und mit ihnen rekombiniert. Die Zellen können in vitro auf korrekte Integration geprüft und anschließend in eine entkernte Oozyte übertragen werden. Bei Nutztieren sind trotz vielfältiger Bemühungen geeignete ES-Zelllinien für homologe Rekombinationsverfahren noch nicht verfügbar. Kürzlich wurde jedoch erstmals bekannt, dass auch primäre fetale Fibroblasten über homologe Rekombination gezielt genetisch verändert werden können und nach Verwendung im Kerntransfer transgene Lämmer und Schweine geboren wurden (McCreath et al., 2001; Denning et al., 2001; Dai et al., 2002; Lai et al., 2002). Auch über die Geburt von transgenen Nachkommen beim Rind wurde berichtet, die von „Stammzell-ähnlichen“ Zellen abstammten (Cibelli et al., 1998a). Da homologe Rekombinationsereignisse immer nur in einem sehr geringen Anteil der Zellen oder einer Zelllinie auftreten, müssen für einen solchen Vorgang große Zahlen an geeigneten Zellen verfügbar sein, aus denen die positiven Zellen herausselektiert werden können.

Die Effizienz des Gentransfers kann durch die Verwendung genetisch modifizierter Zellen im Kerntransferverfahren wesentlich verbessert werden, so dass präzise und genau kontrollierte genetische Veränderungen möglich sind. Dies wird die angestrebte Diversifizierung in vielen Produktionsbereichen erlauben und zudem Effizienzsteigerungen erreichbar machen, die mit konventionellen Zuchtverfahren nicht möglich sind. Die erstellten Produkte werden gut charakterisiert und für den Verbraucher sicher sein. Beim Rind ist durch die geschilderten Entwicklungen eine erhebliche Vielfalt in der Milchproduktion erreichbar. Neben der konventionellen Vollmilch könnte dann gezielt z. B. Magermilch (durch genetische Modifikation der Milchfettsynthese), Milch für die Joghurtherstellung (durch Modifikation im Kaseinbereich), Milch für die Käseherstellung (durch modifizierte Kaseine), hypoallergene Milch (durch Ausschaltung von β-Lactoglobelin), Milchzuckerfreie oder – reduzierte Milch (durch Ausschaltung von α-Lactalbumin oder Laktase-Expression), „Kleinkindermilch“ (durch zusätzliches Laktoferrin) oder eine hygienisch hochwertige Milch (durch zusätzliche Expression von Lysozym oder anderen antibakteriellen Enzymen) produziert werden.

Da viele echte landwirtschaftlich relevante Merkmale durch das Zusammenspiel mehrerer Gene beeinflusst werden, sind bisher kaum transgene Tiere mit im engeren Sinne landwirtschaftlichen transgenen Merkmalen erstellt worden. Beim Rind sind kürzlich transgene Tiere mit effizienter Expression von Laktoferrin berichtet worden (van Berkel et al., 2002). Die Milch dieser Tiere soll insbesondere in der Säuglings – und Kleinkindererernährung verwendet werden. Besondere Bedeutung haben transgene Tiere im biomedizinischen Bereich, insbesondere für die Erzeugung rekombinanter pharmazeutischer Proteine aus der Milchdrüse sowie transgene Schweine für die Xenotransplantation. Heute existieren bereits transgene Schafe und Ziegen, die größere Mengen pharmazeutischer Proteine in der Milchdrüse produzieren. Wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass das jeweilige Strukturprotein unter Kontrolle eines milchdrüsenspezifischen Regulationselements effizient im Euter produziert wird und aus der Milch aufgereinigt werden kann (Clark et al., 1987). Die Blutproteine α_1-Antitrypsin, Antithrombin III (AT III) oder Tissue Plasminogen Activator (TPA), produziert in der Milchdrüse transgener Ziegen oder Schafe, befinden sich bereits in der fortgeschrittenen klinischen Prüfung (Rudolph, 1999; Niemann und Kues, 2000). Bei deren erfolgreichen Ausgang wird mit einer Verfügbarkeit auf dem Arzneimittelmarkt in den nächsten drei bis fünf Jahren gerechnet. In eigenen Forschungsarbeiten wurde erstmals biologisch aktiver humaner Blutgerinnungsfaktor VIII in der Milchdrüse transgener Schafe exprimiert (Niemann et al., 1999).

7 Abschließende Betrachtungen und Projektion für das Jahr 2025

Angesichts der sich dramatisch verschärfenden weltweiten Ressourcen- und Umweltproblematik machen die geschilderten vielfältigen positiven Anwendungsbereiche der Bio- und Gentechnologie eine intensive Forschung erforderlich. Bei Forschung und Anwendung biotechnologischer Verfahren sind die Aspekte des Tierschutzes und der Ethik zu beachten. Tiere müssen eine tierschutzgerechte Behandlung durch den Menschen erfahren. Im Rahmen der geltenden Tierschutzgesetze ist dies gewährleistet. Ethische Hauptkriterien sind, dass die neuen Biotechnologien zur Produktion besserer und spezifischerer Nutztiere (Diversifikation) eingesetzt werden und damit im Prinzip sich nicht von den bisherigen Zielsetzungen der Tierzucht unterscheiden; dass jedes mit Hilfe von Bio- oder Gentechnologie produzierte Tier an sich intakt ist, eine tiergerechte Haltung und Betreuung erfolgt und die Erhaltung einer ausreichenden genetischen Vielfalt gewährleistet ist. Die potentiellen Auswirkungen der Biotechnologie auf die sozialen und ökonomischen Verhältnisse sind rechtzeitig zu diskutieren. Auch die Folgen, die bei Nichtwahrnehmung der Chancen der Bio- und Gentechnologie entstehen, sind angesichts der großen zukünftigen Herausforderungen kritisch zu betrachten.

Im Jahr 2025 wird die Milchviehproduktion wahrscheinlich durch folgende Elemente gekennzeichnet sein:

- Nachkommen können von züchterisch wertvollen präpuberalen Spendertieren gewonnen und damit das Generationsintervall deutlich verkürzt werden.
- Erzeugung geschlechtsvorbestimmter Nachkommen ist möglich.
- Das somatische Klonen ist mit ausreichender Effizienz und ohne Nebenwirkungen möglich und wird eingesetzt. Rückprogrammierung und Redifferenzierung sind ohne die Übertragung in eine entkernte Oozyte möglich.
- Das Genom der Nutztiere ist vollständig und im Detail sequenziert.
- Transgene Tiere mit kontrollierter Transgen-Expression können mit ausreichender Effizienz erstellt werden.

- Die Milchviehzucht wird wesentlich auf molekularer Ebene durchgeführt werden und wird sich auf Elemente der Bio- und Gentechnologie stützen.
- Die Tierzucht wird noch stärker globalisiert sein und viele Bereiche werden durch Patente geschützt sein.

Mit dem Eintritt ins 21. Jahrhundert ist beim Rind bereits ein umfangreiches Arsenal praxisreifer reproduktionsbiotechnologischer Verfahren vorhanden (Tabelle 1), während bei den anderen landwirtschaftlichen Nutztieren teilweise noch erheblicher Entwicklungsbedarf besteht. In Kombination mit den sich rasant weiter entwickelnden molekulargenetischen Erkenntnissen und dem Methodenspektrum steht somit in allernächster Zukunft ein wichtiges Instrumentarium zur Bewältigung zukünftiger Herausforderungen in Tierzucht und Tierproduktion zur Verfügung. Nur die Tierzucht wird wettbewerbsfähig sein, die rechtzeitig neue Technologien aufgenommen hat.

Tabelle 1
Aktueller Entwicklungsstand der Reproduktionsbiotechnologie bei Nutztieren

Biotechnologisches Verfahren	**Schwein**	**Rind**	**Schaf/Ziege**
Künstliche Besamung (KB)	++ (+)	+++	++
Embryotransfer (ET)	++	+++	++
Embryo-Kryokonservierung	+	+++	+++
Sexing	+	++	+
In-vitro-Produktion	+	++ (+)	+
Embryonenteilung	++	+++	++ (+)
Kerntransfer	+	++	+ (+)
Transgene Tiere (Mikroinjektion)	++	++	++

+ = Exp. Stadium, erste Nachkommen
++ = Praxisanwendung möglich
+++ = Praxisanwendung verbreitet

Literatur

Armstrong DT (1993): Recent advances in superovulation of cattle. Theriogenology 39: 7-24

Armstrong DT, Leung PCK (1990): The physiological basis of superovulation: Seminars in Reproductive Endocrinology 8: 219-231

Bavister BD (1995): Culture of preimplantation embryos: Facts and Artifacts. Hum Reprod Update 1: 91-148

Bondioli KR, Westhusin ME, Looney CR (1990): Production of identical offspring by nuclear transfer. Theriogenology 33: 165-174

Brackett BG, Zuelke KA (1993): Analysis of factors involved in the in vitro production of bovine embryos. Theriogenology 39: 43-64

Brem G (1986): Mikromanipulation an Rinderembryonen und deren Anwendungsmöglichkeiten in der Tierzucht. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

Brem G, Kühholzer B (2002): The recent history of somatic cloning in mammals. Cloning and Stem Cells 4: 57-63

Bungartz L, Niemann H (1994): Assessment of the presence of a dominant follicle and selection of dairy cows suitable for superovulation by a single ultrasound examination. J Reprod Fertil 101: 583-591

Bungartz L, Lucas-Hahn A, Rath D, Niemann H (1995): Collection of oocytes from cattle via follicular aspiration aided by ultrasound with or without gonadotropin pretreatment and in different reproductive stages. Theriogenology 43: 667-675

Campbell KHS, McWhir J, Ritchie WA, Wilmut I (1996): Sheep cloned by nuclear transfer from a cultured cell line. Nature 380: 64-66

Cibelli JB, Stice SL, Golueke PJ, Kane JJ, Jerry J, Blackwell C, Ponce de Léon FA, Robl JM (1998a): Transgenic bovine chimeric offspring produced from somatic cell derived stem cell like cells. Nat Biotechnol 16: 642-646

Cibelli JB, Stice SL, Golueke PJ, Kane JJ, Jerry J, Blackwell C, Ponce de Léon FA, Robl JM (1998b): Cloned transgenic calves produced from nonquiescent fetal fibroblasts. Science 280: 1256-1258

Clark AJ, Simons P, Wilmut I, Lathe R (1987): Pharmaceuticals from transgenic livestock. Tibtech 5: 20-24.

Dai Y, Vaught TD, Boone J, Chen S-H, Phelps CJ, Ball S, Monahan JA, Jobst PM, McCreath KJ, Lamborn AE, Cowell-Lucero LJ, Wells KD, Colman A, Polejaeva IA, Ayares DL (2002): Targeted disruption of the α1,3-galactosyltransferase gene in cloned pigs. Nat Biotechnol 20: 251-255

Denning C, Burl S, Ainslie A, Bracken J, Dinnyes A, Fletcher J, King T, Ritchie M, Ritchie WA, Rollo M, de Sousa P, Travers A, Wilmut I, Clark AJ (2001): Deletion of the α(1,3)galactosyl transferase (GGTAI) gene and the prion protein (PrP) gene in sheep. Nat Biotechnol 19: 559-562

Di Berardino MA (2001): Animal cloning – the route to new genomics in agriculture and medicine. Differentiation 68: 67-83

Espanion G, Niemann H (1996): Methodik der Erstellung und Anwendungsperspektiven transgener Nutztiere. Dt Tierärztl Wschr 103: 320-328

Hammer RE, Palmiter RD, Pursel VG, Rexroad CE Jr, Wall RJ, Bolt DJ, Ebert KM, Brinster RL, Palmiter RE (1985): Production of transgenic rabbits, sheep and pigs by microinjection. Nature 315: 680-683

Kato Y, Tani T, Sotomaru Y, Kurokawa K, Kato JY, Daguchi H, Yasue H, Tsunoda Y (1999) : Eight calves cloned from somatic cells of a single adult. Science 282: 2095-2098

Khurana NK, Niemann H (2000): Effects of oocyte quality, oxygen tension, embryo density, cumulus cells and energy substrates on cleavage and morula/blastocyst formation of bovine embryos. Theriogenology 54: 741-756

Kreysing U, Nagai T, Niemann H (1997): Male-dependent variability of fertilization and embryo development in two bovine in vitro fertilization systems and the effects of casein phosphopeptides (CPPs). Reprod Fertil Dev 9: 465-474

Kues WA, Anger M, Carnwath JW, Paul D, Motlik J, Niemann H (2000): Cell cycle synchronization of porcine fetal fibroblasts: effects of serum deprivation and reversible cell cycle inhibitors. Biol Reprod 62: 412-419

Lai L, Kolber-Simonds D, Park K-W, Cheong H-T, Greenstein JL, Im G-S, Samuel M, Bonk A, Rieke A, Day BN, Murphy CN, Carter DB, Hawley RJ, Prather RS (2002): Production af α-1,3-Galactosyltransferase knockout pigs by nuclear transfer cloning. Science 295: 1089-1092

Loi P, Ptak G, Barboni B, Fulka J Jr, Cappai P, Clinton M (2001): Genetic rescue of an endangered mammal by cross-species nuclear transfer using post-mortem somatic cells. Nat Biotechnol 19: 962-964

Lucas-Hahn A, Eckert J (1996): Entwicklungsstand und Anwendungsbereiche der In-vitro-Produktion von Rinderembryonen. Dt Tierärztl Wschr 103: 306-311

McCreath KJ, Howcroft J, Campbell KHS, Colman A, Schnieke AE, Kind AJ (2000): Production of gene-targeted sheep by nuclear transfer from cultured somatic cells. Nature 405: 1066-1069

Niemann H (1991): Cryopreservation of ova and embryos from livestock: Current status and research needs. Theriogenology 35: 109-124

Niemann H (1995): Advances in cryopreservation of bovine oocytes and embryos derived in vitro and in vivo. In: Reproduction and Animal Breeding: Advances and Strategy, (eds.) G Enne, GF Greppi, A Lauria, Elsevier, Biofutur pp. 117-128

Niemann H, Halter R, Carnwath JW, Herrmann D, Lemme E, Paul D (1999): Expression of human blood clotting factor VIII in the mammary gland of transgenic sheep. Transgenic Res 8: 237-247

Niemann H, Kues W (2000): Transgenic livestock: Premises and promises. Anim Reprod Sci 60-61: 278-296

Niemann H, Meinecke B (1993): Embryo Transfer und assoziierte Biotechniken bei landwirtschaftlichen Nutztieren. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, ISBN 3432 254717

Niemann H, Wrenzycki C (2000): Alteration of expression of developmentally important genes in preimplantation bovine embryos by in vitro culture conditions: Implications for subsequent development. Theriogenology 53: 21-34

Niemann H, Wrenzycki C, Lucas-Hahn A, Brambrink T, Kues WA, Carnwath JW (2002): Gene expression patterns in bovine in vitro-produced and nuclear transfer-derived embryos and their implications for early development. Cloning and Stem Cells 4: 29-38

Pavlok A, Lucas-Hahn A, Niemann H (1992): Fertilization and development competence of bovine oocytes derived from different categoreis of antral follicles. Mol Reprod Dev 31: 63-67

Prather RS, First NL (1990): Nuclear transfer in mammalian embryos. Int Rev Cytol 120: 169-190

Ptak G, Clinton M, Barboni B, Muzzeddu M, Cappai P, Tischner M, Loi P (2002): Preservation of the wild European mouflon: the first example of genetic management using a complete program of reproductive biotechnologies. Biol Reprod 66: 796-801

Pursel VG, Rexroad CE Jr (1993): Status of research with transgenic farm animals. J Anim Sci 71 Suppl 3: 10-19

Pursel VG, Pinkert CA, Miller KF, Bolt DJ, Campbell RG, Palmiter RD, Brinster RL, Hammer RE (1989): Genetic engineering of livestock. Science 244: 1281-1288

Reichelt B, Niemann H (1994): Generation of identical twin piglets following bisection of embryos at the morula and blastocyst stage. J Reprod Fertil 100: 163-172

Rudolph NS (1999): Biopharmaceutical production in transgenic livestock. Tibtech 17: 367-374

Saito S, Niemann H (1993): In vitro and in vivo survival of bovine demi-embryos following simplified besection and transfer of one or two halves per recipient. J Reprod Dev 39: 251-258

Schnieke AE, Kind AJ, Ritchie WA, Mycock C, Scott AR, Ritchie M, Wilmut J, Colman A, Campbell KHS (1997): Human factor IX transgenic sheep produced by transfer of nuclei from transfected fetal fibroblasts. Science 278: 2130-2133

Sommerfeld V, Niemann H (1999): Cryopreservation of bovine in vitro produced embryos using ethylene glycol in controlled freezing or vitrification. Cryobiology 38: 95-105

Thibier M (2001): The animal embryo transfer industry in figures. IETS Newsletter 19(4): 16-22

Trounson AO, Pushett D, Maclellan LJ, Lewis I, Gardner DK (1994): Current status of IVM/IVF and embryo culture in humans and farm animals. Theriogenology 41: 57-66

van Berkel PHC, Welling MM, Geerts M, van Veen HA, Ravensbergen B, Salaheddine M, Pauwels EKJ, Pieper F, Nuijens JH, Nibbering PH (2002): Large scale production of recombinant human lactoferrin in the milk of transgenic cows. Nat Biotechnol 20: 484-487

Voelkel SA, Hu Y (1992): Direct transfer of frozen-thawed bovine embryos. Theriogenology 37: 23-37

Wheeler MB, Campion DR (1993): Animal production – a longstanding biotechnological success. Am J Clin Nutr 58 Suppl: 276-281

Willadsen SM (1986): Nuclear transplantation in sheep embryos. Nature 320: 64-65

Willadsen SM, Janzen RE, McAlister RJ, Shea BF, Hamilton G, McDermand D (1991): The viability of late morulae and blastocysts produced by nuclear transplantation in cattle. Theriogenology 35: 161-170

Williams TJ, Elsden RP, Seidel GE Jr (1994): Pregnancy rates with bisected bovine embryos. Theriogenology 22: 521-531

Wilmut I, Schnieke AE, Mc Whir J, Kind AJ, Campbell KHS (1997): Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. Nature 385: 810-813

Einsatz von gesextem Sperma in Rinderzuchtprogrammen

Detlef Rath*

Die Basis für moderne Rinderzuchtprogramme ist die instrumentelle Samenübertragung. Ursprünglich wurde dieses biotechnische Verfahren aus tiermedizinischen Gründen Ende der 40er Jahre entwickelt, um die Infektionskette der Geschlechtskrankheiten, die von den Deckbullen übertragen wurden, zu unterbrechen. Innerhalb weniger Jahre wurden venerische Erkrankungen in den Rinderherden auf ein Minimum reduziert und auch andere übertragbare Seuchen mit Unterstützung der Besamung weitgehend eliminiert. Vorteile durch die Besamung für züchterische Aufgaben lagen auf der Hand und der Einsatz von Frischsperma ermöglichte zunächst die Nutzung hochwertiger Vererber lokaler und nationaler Zuchtressourcen. Voraussetzungen für den internationalen Spermahandel wurden Mitte der 60er Jahre durch die Tiefgefrierkonservierung von Rindersamen geschaffen. Ohne diese Biotechnik gäbe es heute keine weltweite Nutzung der Milchrinderrassen amerikanischer und kanadischer Herkunft.

Als innovatives Instrument für die Rinderzucht steht jetzt eine neue Technik am Abschluss der Laborphase, die es erlaubt, Ejakulate vor der Besamung aufgrund der geschlechtsbestimmenden Eigenschaften der Samenzellen zu sortieren und solche Nachkommen vermehrt zu erzeugen, die für eine bestimmte Produktionsrichtung vorteilhaft sind. Dies dient der Optimierung der Bestandsgrößen, minimiert den Anfall von Reststoffen aus der Tierproduktion, maximiert die Nährstoffnutzung in Bezug auf die Produktmenge, erleichtert das Zuchtmanagement und verbessert die Chancen für den Export tragender Rinder. Besamungen mit gesexten Spermien sind u. a. vorteilhaft bei der Erzeugung von Bullenmüttern, der Vermehrung wertvoller Vererber, der Reduzierung von Bullenkälbern in Milchbetrieben und der Verringerung von Testbesamungen um bis zu 50 %. Aktuell besteht ein erheblicher Mangel an weiblichen Kälbern, der u. a. durch kürzere Nutzungszeiten der Milchkühe und abnehmende Fruchtbarkeit bedingt ist. Durch den Einsatz von gesextem Sperma könnte diese Situation kurzfristig entlastet werden.

Im Mastbetrieb werden vorwiegend Bullenkälber benötigt und bei Zweinutzungsrassen ist die Geschlechtsauswahl aufgrund positiver Merkmale in der Zuchtwertschätzung sinnvoll. Vorteile ergeben sich außerdem beim Aufbau genetischer Ressourcen und der Erhaltung vom Aussterben bedrohter Rinderrassen, insbesondere wenn neben den gesexten Spermien Oozyten tiefgefroren werden könnten.

Biologische Voraussetzungen

Bei Säugetieren wird das Geschlecht der Nachkommen durch die Geschlechtschromosomen in den Spermien bestimmt. Die Oozyten tragen immer ein X-Chromosom, deren Befruchtung mit einem X-chromosomalem Spermium zur Ausbildung des weiblichen Geschlechtsapparates führt. Befruchtungen mit Y-chromosomalen Spermien unterdrücken die Entwicklung des weiblichen Genitaltraktes (Anti-Müller-Horman) und induzieren die Bildung des männlichen Genitaltraktes. Die genetisch primäre Information steuert die Ausbildung der Hodenanlage im Fetus und ist auf dem kurzen Arm des Y-Chromosoms lokalisiert. Die Y-Chromosom tragende Samenzelle enthält etwas weniger DNA als die X-Chromosom tragende. Die relativen speziesspezifischen Unterschiede des DNA-Gehaltes sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Technische Voraussetzungen

Untersuchungen zur Trennung der „weiblichen“ und „männlichen Spermien wurden bereits zu Beginn des letzten Jahrhunderts unternommen. Bis Mitte der 80er Jahre wurde versucht, durch physikalische Verfahren Eigenschaften wie Größe, Geschwindigkeit, Dichte, Polarität usw. zur Trennung der Spermienpopulation anzuwenden oder durch immunologische Verfahren mit entsprechenden Antikörpern geschlechtsspezifische Unterschiede zu ermitteln. Die Versuche waren nicht aussagefähig oder waren nicht reproduzierbar. Der bislang

* PD Dr. Detlef Rath, Forschungsbereich Biotechnologie, Institut für Tierzucht Mariensee, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 31535 Neustadt, e-mail: rath@tzv.fal.de

einzige wirklich bewiesene Unterschied zwischen X- und Y-Chromosom tragenden Spermien ist deren unterschiedlicher Gehalt an DNA. Mit Hilfe der sogenannten LASER-Flowzytometrie können die feinen Unterschiede der Erbsubstanz im Spermienkopf gemessen und für die Auftrennung der Ejakulate in X- und Y-Chromosom tragenden Samenzellen genutzt werden. Wesentliche Teile des Verfahrens sind als „Beltsville Sperm Sexing Technology“, BSST, patentiert worden.

Tabelle 1
Beispiele für den relativen Unterschied des DNA-Gehaltes in Spermien verschiedener Haustierspezies und des Menschen

Tierart	**Unterschied des relativen DNA-Gehaltes zwischen X- und Y-Chromosom tragenden Spermien**
Mensch	2,9 %
Kaninchen	3,0 %
Maus	3,2 %
Schwein	3,6 %
Rind	3,8 %
Pferd	4,1 %
Schaf	4,2 %

Prinzip der flowzytometrischen Spermientrennung

Frisch gewonnene Ejakulate werden hoch verdünnt und mit einem Fluoreszenzfarbstoff, der sich an die Chromosomen im Spermienkopf anlagert, markiert. Die Menge des gebundenen Farbstoffes hängt direkt von der vorhandenen DNA-Menge ab. Die Messung der Fluoreszenz erfolgt an einzelnen Spermien, die sich in einem feinen Flüssigkeitsstrom an einer starken Laserquelle vorbeibewegen. Die unterschiedlich starken Fluoreszenzsignale werden von Fotozellen erfasst und von einem schnellen Computer analysiert. Um viele Samenzellen einzeln messen zu können, wird der Flüssigkeitsstrom durch Vibrationen in einen Tröpfchenstrom zerteilt, wobei jedes Tröpfchen eine Samenzelle enthält. Für den eigentlichen Trennvorgang werden die Tröpfchen in Abhängigkeit von der Stärke des Fluoreszenzsignals, das sich aus dem relativen DNA-Gehalt ergibt, elektrisch positiv oder negativ aufgeladen. Beim anschließenden Passieren eines elektrischen Feldes bewirkt die elektrische Aufladung eine Ablenkung der Tröpfchen zur einen oder anderen Seite. Die Tröpfchen mit den Spermien werden in Eppendorf-Röhrchen in einem TES-Eidotterverdünner aufgefangen.

Mit den neusten Hochgeschwindigkeits-Flowzytometern und spezieller Software, die für die Sortierung von Spermien entwickelt wurde, können pro Sekunde bis zu 30.000 Samenzellen identifiziert werden und hiervon ca. 20 % sicher auf ihren chromosomalen Gehalt überprüft und sortiert werden. Entscheidend ist dabei, wie genau die Samenzellen vor dem Laserstrahl ausgerichtet werden. Bei Einstellung auf hohe Trenngenauigkeit liegt die Reinheit der Spermientrennung zwischen 92 und 98 %. Damit stehen pro Stunde 22 bis 25 Millionen „gesexte“ Spermien für die Besamung zur Verfügung. Durch eine unmittelbar an den Sortiervorgang durchgeführte Reanalyse liegt die Information über die Reinheit der jeweils getrennten Samenprobe bereits vor, bevor die Spermien tiefgefroren werden.

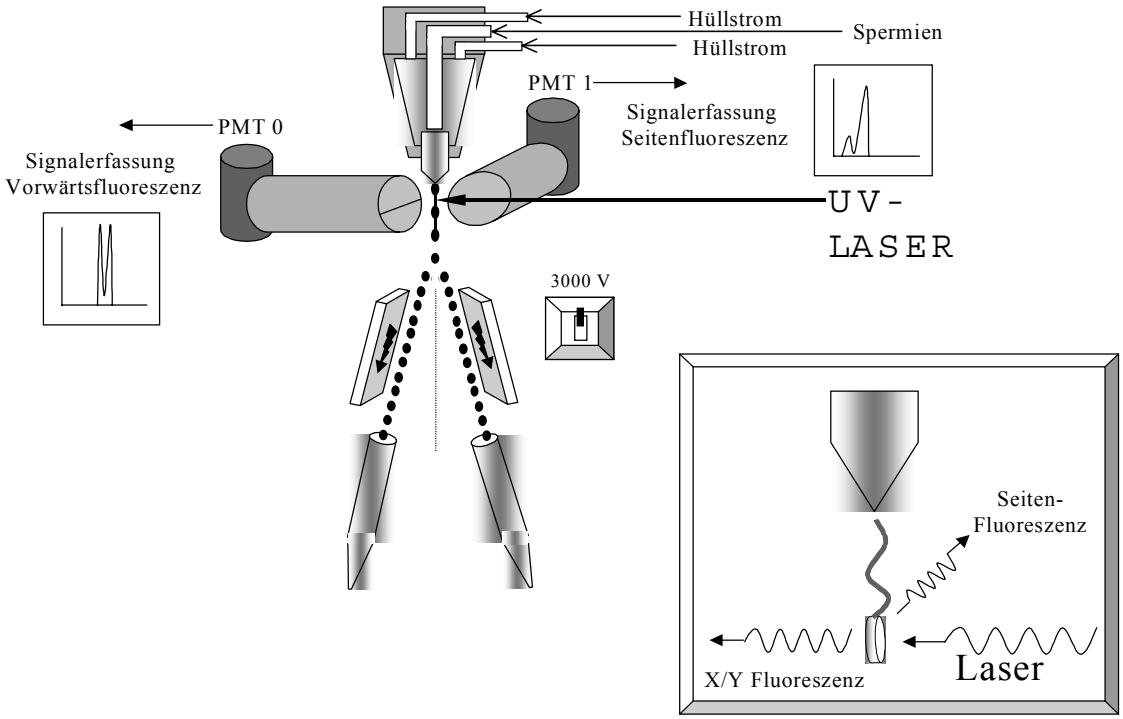


Abbildung 1
Prinzip der Flowzytometrie

Abbildung 2
Hochgeschwindigkeits-Flowzytometer (TZV Mariensee)

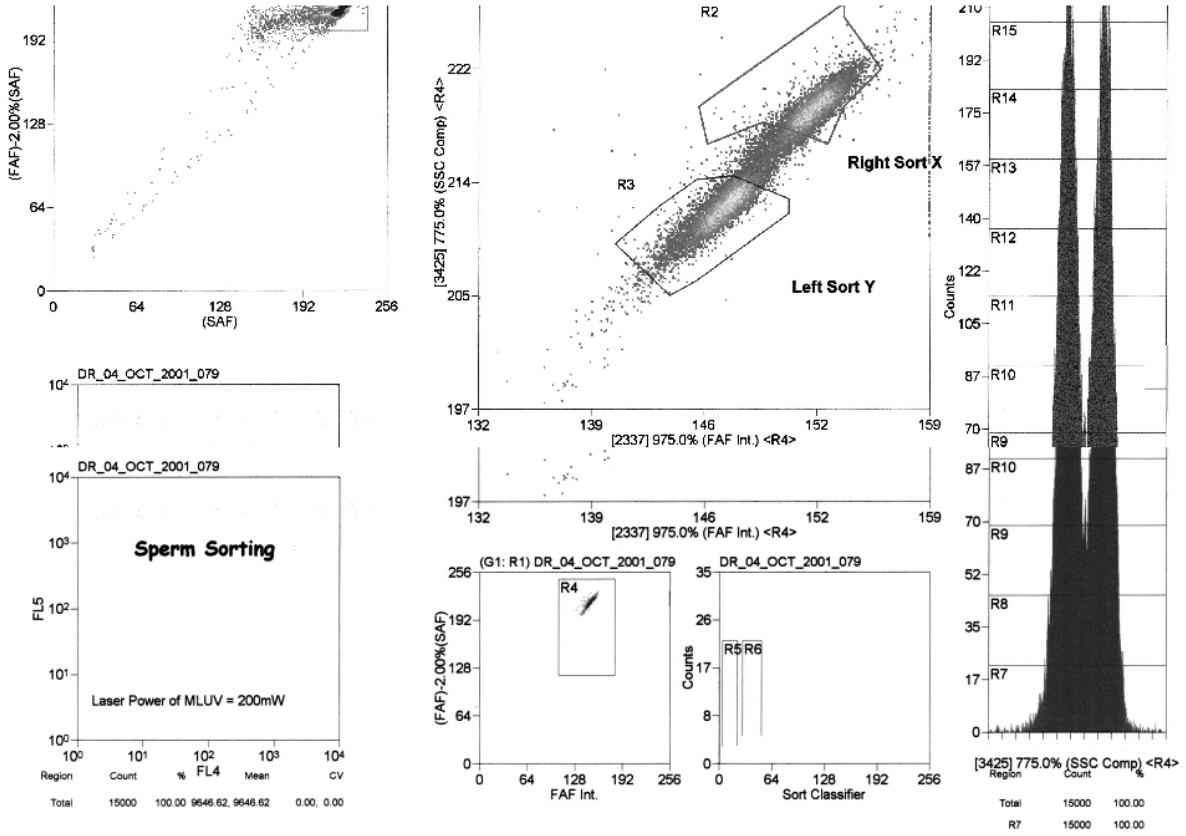


Abbildung 3
Diagramm des Sortierprozesses

Oben links ist die gesamte vom Gerät erkannte Spermienpopulation zu erkennen (jeder Punkt repräsentiert eine Samenzelle). Die dunkleren Bereiche kennzeichnen die Anhäufung von vor dem Laser richtig orientierten Spermien, wobei der obere Bereich X-chromosomale, der untere Y-chromoso-male Spermien zeigt. Im mittleren Histogramm wird die zu sortierende Spermienpopulation nach elektronischer Bearbeitung und Fokussierung dargestellt. Die beiden Rahmen geben die jeweilige Sortierrichtung vor. Im rechten Histogramm ist die Auftrennung der Spermienpopulation dargestellt. Der linke Peak repräsentiert die Y-chromosomalen, der rechte Peak die X-chromosomalen Spermien. Je tiefer der Einschnitt zwischen den Peaks erscheint, umso schneller und genauer können die Spermien sortiert werden.

Die ersten Kälber wurden 1992 aus In-vitro-Befruchtung mit gesextem Sperma geboren. Fünf Jahre später gelang die erste Besamung mit frisch sortiertem Bullensperma und seit 1999 wird das gesexte Bullensperma tiefgefroren. Im Vergleich zu den Spermienmengen, die üblicherweise in der Besamung eingesetzt werden, erscheint die Zahl gesexter Spermien, die pro Zeiteinheit isoliert werden kann, relativ gering. Bei Färsen reicht aber lt. amerikanischen Studien die Verlegung des Besamungsortes von der Zervix in das Uterushorn aus, um statt mit 20 Millionen mit 1 bis 2 Millionen lebenden Spermien erfolgreich zu besamen. Dabei sinken die Non-Returnraten gegenüber normalen Besamungen um ca. 15 % ab. Bei Kühen weist die Besamung mit gesextem Sperma noch Mängel auf, denn die Variabilität im Zyklusgeschehen scheint höher zu sein. Gegenwärtig laufen Untersuchungen im Institut für Tierzucht, um den optimalen Zeitpunkt für die Besamung von Kühen mit gesextem Sperma zu ermitteln. Offensichtlich lassen sich nicht alle Bullen verwenden, denn durch die starke Reduzierung der Spermien pro Besamungsdosis entfällt die Kompensation von Spermamängeln. Ein Einfluss wurde auch für den „Besamer“ in amerikanischen Studien nachgewiesen, der evtl. mit der veränderten Besamungstechnik im Zusammenhang steht. Bislang wurden mehr als 3.000 Kälber mit gesextem Sperma erzeugt. Das Nachkommengeschlecht war in allen Untersuchungen mit den Ergebnissen der Reanalyse hoch korreliert.

Patente und Lizenzen

Die Technik der flowzytometrischen Spermientrennung ist durch eine Reihe von Patenten geschützt. Ein wesentliches Patent wurde vom USDA in Washington erworben und die Lizenzrechte für die Nutzung bei Tieren an ein amerikanisches Unternehmen (XY Inc. Colorado) vergeben. Für die kommerzielle Nutzung ist daher ein Lizenzerwerb erforderlich.

Perspektiven zur Integration des Sperma Sexing in Rinderzuchtprogramme des Jahres 2025

Drei unterschiedliche Szenarien sind für die Entwicklung der Techniken zur Geschlechtsbeeinflussung möglich.

1. *Es bleibt bei der Notwendigkeit, Spermien einzeln zu identifizieren und zu sortieren.*

Das flowzytometrische Verfahren ist im Hinblick auf die Trenngenauigkeit sehr zuverlässig und ermöglicht durch Reanalyse der Spermienproben unmittelbar nach dem Sortiervorgang eine genaue Voraussage der Geschlechtsverschiebung in der Nachkommenpopulation. Die Technik ist relativ einfach zu handhaben und lässt sich in bestehende Besamungsregime integrieren. Begrenzt wird das Verfahren durch die Notwendigkeit, jede Samenzelle einzeln zu identifizieren und zu sortieren. Technische Verbesserungen der flowzytometrischen Spermientrennung sind zwar zu erwarten und können evtl. die Sortierrate nochmals verdoppeln. Damit sind die physikalischen Grenzen aber erreicht. Änderungen im Besamungsregime, die auf eine deutliche Spermienreduzierung in der Besamungsdosis ausgerichtet sind, können diesen Nachteil teilweise auffangen. Positive Ergebnisse wurden über In-vitro-Produktionsverfahren mit gesextem Sperma und anschließendem Embryotransfer berichtet. Die erforderlichen Oozyten können unchirurgisch durch Follikelpunktion in fast jedem Reproduktionsstatus von Kälbern, Rindern und Kühen gewonnen werden, ohne das Reproduktionsverhalten der Spendertiere zu beeinflussen

2. *Es werden alternative Verfahren entwickelt, die keine individuelle Spermienanalyse erfordern.*

Zweifelsohne wäre es günstiger, ein Trennverfahren zu verwenden, dass eine Identifizierung der einzelnen Samenzellen überflüssig macht und es erlaubt, das gesamte Ejakulat geschlechtsspezifisch auftrennen. Dies setzt voraus, dass auf der Spermienoberfläche Strukturen vorhanden sind, die eindeutig geschlechtsspezifisch sind, nicht zwischen Samenspendern variieren und technische Lösungen der Identifizierung und Trennung zulassen. Geeignet wären hierfür geschlechtsspezifische Proteine auf der Spermienoberfläche, gegen die Antikörper produziert werden und die zur Ausfällung des nicht gewünschten Geschlechtes führen. Sollen nur Spermien für ein Nachkommengeschlecht verwendet werden, würde es ausreichen, ein Membranprotein zu finden, das nur auf einer Spermienart vorkommt. Soll für beide Geschlechtsmerkmale eine Auftrennung möglich sein, müssten zwei unterschiedliche Proteine vorhanden sein. Immunologische Untersuchungen, um derartige Oberflächenproteine eindeutig nachzuweisen und für eine sichere Trennung mittels monoklonaler Antikörper zu verwenden, hat es in der Vergangenheit mehrfach gegeben. Bis heute sind weder einsatzfähige Sortierverfahren, die auf immunologischen Prinzipien basieren, erfolgreich gewesen, noch sind Nachkommen mit prognostiziertem Geschlecht bislang hieraus geboren worden. Alle wissenschaftlichen Publikationen, bei denen Oberflächenproteine z. B. mittels hochsensibler 2D- Elektrophorese identifiziert wurden, haben bislang keinen geschlechtsspezifischen Unterschied erkennen lassen.

Andere Spermienmembranbestandteile wie Lipide oder Zucker sind am Bindungsgeschehen von Samenzelle und Eizelle beteiligt. Eine mögliche Geschlechtsspezifität dieser Strukturen wird derzeit im Rahmen eines gemeinsamen DFG-Projektes des Instituts für Tierzucht der FAL, des Instituts für Reproduktionsmedizin der Tierärztlichen Hochschule Hannover und der Universität Göttingen untersucht.

Ein anderer Ansatz bezieht sich auf die Beeinflussung der Geschwindigkeit von Samenzellen. Kürzlich wurde auf dem Chromosom 17 bei Mäusen ein geschlechtsspezifisches Gen gefunden, dass scheinbar die Geschwindigkeit von Samenzellen beeinflusst. Ob dieses Gen auch bei anderen Säugern vorhanden ist, ist nicht bekannt. Man müsste für die Beeinflussung der Spermiengeschwindigkeit allerdings zunächst ein transgenes Vatertier erstellen. Ob dessen Nachkommen züchterisch dann noch interessant sind, ist fraglich.

3. *Die Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses erfolgt nicht mehr durch Spermienselektion*

Das Geschlechtsverhältnis kann auch unabhängig von einer Spermienselektion erfolgen, indem beispielsweise im Rahmen des Embryotransfers das Embryonengeschlecht molekulargenetisch bestimmt wird und nur die Embryonen übertragen

werden, die das gewünschte Geschlecht besitzen. Dieses Verfahren wird von den Besamungsstationen seit mehreren Jahren kommerziell angeboten, beinhaltet aber eine Reihe von ökonomischen und technischen Nachteilen.

Ein anderer Ansatz wäre die Erstellung transgener Tiere. Allerdings ist die fetale Entwicklung der Geschlechtsorgane und deren Funktion nicht monogen. Weibliche Mäuse, die für das sry-Gen transgen gemacht wurden, entwickelten zwar den männlichen Genitalapparat, blieben aber steril.

Durch Klonen ließen sich ebenfalls Nachkommen mit gewünschtem Geschlecht erstellen. Hierzu könnte man auf Embryonen zurückgreifen, die durch Auslösung einer Parthenogenese entstehen und daher nur weiblich sein können. Alternative wäre es auch möglich, somatische Zellen von weiblichen Spendertieren zu reprogrammieren und die Zellkerne zum Klonen zu nutzen. Diese Biotechniken stehen aber erst am Anfang der Entwicklung und es bleibt abzuwarten, ob mittelfristig deren Nutzung in der Rinderzucht durchsetzbar ist. Gegenwärtig wird eine Akzeptanz dieser Techniken eher fraglich eingeschätzt.

Nach heutigem Kenntnisstand kommt mittelfristig nur die flowzytometrische Spermientrennung für den Einsatz in der Rinderzucht in Frage. Gleichgültig, welche Technik letztendlich zur Anwendung kommt, aus ökonomischer und ökologischer Sicht ist eine Optimierung der Rinderzucht durch Auswahl des richtigen Geschlechts für den jeweiligen Produktionszweig geboten. Da die Entwicklungs- und Betriebskosten für die genannten Verfahren hoch sind, wäre eine intensivere Kooperation der Zuchtverbände und Besamungsstationen mit Forschungseinrichtungen, die die erforderliche Expertise besitzen, erstrebenswert.

Steigende Milchleistungen – Kann die Tierernährung Schritt halten?

Gerhard Flachowsky, Peter Lebzien und Ulrich Meyer*

1 Einleitung

Fortschritte in Züchtung, Fütterung, Haltung und Management haben in den zurückliegenden Jahren zu einem deutlichen Anstieg der Milcherzeugung je Kuh geführt (Tabelle 1). Als Hauptursachen werden vor allem ökonomische und nährstoffökonomische Aspekte genannt. Darüber und über Konsequenzen hoher Milchleistungen wurde in jüngster Vergangenheit in verschiedenen Übersichtsbeiträgen berichtet (z. B. Flachowsky et al., 2002; Vandemaar, 1999).

Tabelle 1
Milchleistungen in Deutschland (Landesmittel, nach unterschiedlichen Quellen)

Jahr	Milchleistung kg/Jahr
≈ 1800	≈ 1.000
	(280 Melktage, ≈ 200 kg LM, Zuchtreife: ≈ 4 Jahre)
≈ 1850	≈ 1.500
	(450 - 3.430 kg)
1914	2.200
	(Einzeltiere bis 8.000 kg, ≈ 500 kg LM, Zuchtreife: ≈ 1,5 Jahre)
1939	2.480
	(Einzeltiere bis 15.000 kg)
1950	2.473
1975	3.999
2000	6.050
2025	8.500 ??

Die Milchleistung je Tier wird zwar in den nächsten Jahren sowohl global als auch national noch weiter ansteigen, wobei aber nicht die absolute Spitzenleistung das Ziel sein sollte, sondern die effektivste Nutzung der Futtermittel durch gesunde Tiere bzw. das günstigste finanzielle Betriebsergebnis. Bezüglich absoluter Leistungshöhe schrieb der Pionier der deutschen Agrarwissenschaften und große Generalist A. D. Thaer, dessen 250. Geburtstag in diesem Jahr begangen wird, in seinen „Grundsätzen der rationellen Landwirtschaft“ (Thaer, 1810):

„Die Landwirtschaft ist ein Gewerbe, welches zum Zwecke hat, durch Produktion pflanzlicher und tierischer Substanzen Gewinn zu erzeugen.

Die vollkommenste Landwirtschaft ist die, welche den möglich höchsten, und nachhaltigen Gewinn aus ihrem Betrieb zieht.

Nicht die möglichst höchste Produktion, sondern der höchste reine Gewinn, nach Abzug der Kosten, ist Zweck des Landbaues.“

So werden die mit ansteigenden Leistungen nährstoffökonomischen Vorteile mit zunehmendem Leistungsniveau relativ immer geringer, da der Anteil des „unproduktiven“ Erhaltungsbedarfes auf eine immer größere Milchmenge „umgelegt“ werden kann. Für die Tierernährer resultiert daraus die Aufgabe, Fütterungskonzepte für unterschiedliche Produktionsintensitäten zu entwickeln und vorzulegen, was jedoch mit zunehmender Leistung immer schwieriger wird. Die kürzlich publizierten Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen (GfE, 2001; NRC, 2001) stellen gegenwärtig eine wichtige Basis dar, um dieser Forderung gerecht zu werden. Unter Berücksichtigung des Erkenntniszuwachses werden diese Broschüren bis 2025 voraussichtlich zwei bis drei Neuauflagen erfahren.

2 Was erwarten wir von der Milchkuh?

Die an die Milchkühe gestellten hohen Erwartungen kommen in folgender Auflistung zum Ausdruck:

- kostengünstige und ressourcenschonende Milcherzeugung
- Produktion hoher Mengen an Milch bzw. Milchinhaltsstoffen (abs. Höhe hängt von verschiedenen Rahmenbedingungen ab)
- qualitativ hochwertige Milchprodukte, Realisierung von Sonderwünschen (z. B. Beiträge zu „Functional Foods“ u. a.)
- effektive Konvertierung der Futterinhaltsstoffe in Milchinhaltsstoffe
- geringe Umweltbelastung (z. B. CH4, aber auch N, P u. a.)

Bei einer Milchleistung von 50 kg/Tag wird von der Milchkuh etwa 6 kg organische Substanz je Tag sezerniert (≈ 1,6 kg Protein, ≈ 2 kg Fett, ≈ 2,4 kg

* Prof. Dr. Gerhard Flachowsky, Dr. Peter Lebzien und Dr. Ulrich Meyer, Institut für Tierernährung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.

Laktose). Um dies ohne Abbau von Reserven zu realisieren, müsste die Milchkuh (≈ 700 kg Lebendmasse) nahezu 30 kg Futter-T mit einer Energiekonzentration von ≈ 7 MJ NEL/kg T je Tag verzehren.

In Pansen, Leber und Milchdrüse sind etwa für 50 kg Milch folgende Umsetzungen erforderlich (Breves und Rodehutscord, 1999; Flachowsky et al., 2002; Stangassinger, 2000):

Umsetzungen im Pansen	
flüchtige Fettsäuren	≈ 7 kg
mikrobielles Protein	≈ 3 kg
Leistungen der Leber	
Blutfluss	≈ 60 t
Glucosebereitstellung (überwiegend Gluconeogenese)	≈ 3,5 kg
Harnstoffsynthese	≈ 0,5 kg
Blutfluss Milchdrüse, (≈ 500 l je kg Milch)	≈ 25 t

Derartige Leistungen können nur von gesunden und fruchtbaren Kühen vollbracht werden, die große Mengen an Futter aufnehmen und die Energie sowie die Inhaltsstoffe effektiv nutzen.

Auf die Bedeutung von Gesundheit und Fruchtbarkeit für die Höhe der jährlichen Milchleistung der Kühe ist Rehage (2002) nachdrücklich eingegangen. Andererseits gibt es zunehmend Hinweise, dass bei so hohen Milchleistungen das Fruchtbarkeitsgeschehen der Tiere nachteilig beeinflusst wird (z. B. Fleischer et al., 2001; Hansen, 2000; Harms und Studier, 2001; Heuer, 1999; Taylor et al., 2001).

Luci (2001) hat kürzlich 143 Herdbuchherden in Nord-Carolina (USA) über 30 Jahre vergleichend ausgewertet und kam zu der Einschätzung, dass bis zu Jahresmilchleistungen von ≈ 8.000 kg kein wesentlicher Einfluss auf die Zwischenkalbezeit und den Besamungsaufwand zu beobachten war (Abbildung 1), bei höheren Leistungen jedoch ungünstige Effekte auftraten. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kamen andere Autoren, über die zusammenfassend berichtet wurde (Flachowsky et al., 2002). Ob die Ursachen hierfür in einer unzureichenden oder gar falschen Ernährung der Hochleistungstiere zu suchen sind, ist weitgehend ungeklärt. Aus dieser Situation resultiert eine wichtige Forschungsaufgabe für die Zukunft, denn Tiergesundheit und Fruchtbarkeit sind auch entscheidende Voraussetzungen für die Erzeugung qualitativ hochwertiger Milch.

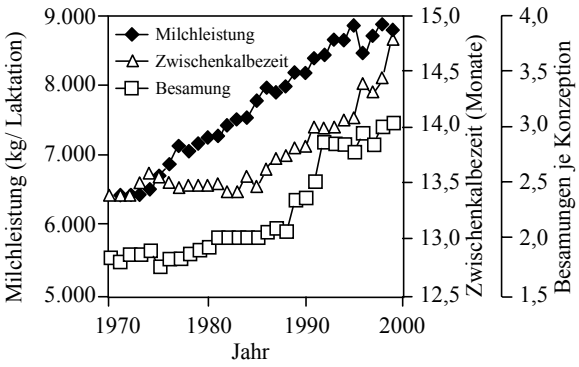


Abbildung 1
Milchleistung, Besamungsaufwand und Zwischenkalbezeit von 143 Herdbuchherden in Nordcarolina (USA; Luci, 2001)

3 Was kann die Tierernährung für die Milchkuh tun, damit sie auch 2025 die Erwartungen erfüllt?

Die Bereitstellung von energiereichem, gern gefressenem und ausreichendem Grundfutter ist eine entscheidende Voraussetzung für hohe Leistungen mit gesunden Kühen. Bei Tagesmilchleistungen zwischen 40 und 50 kg müssen die Kühe 25 bis 30 kg T einer energiereichen Ration verzehren, damit kein zu großes Energiedefizit eintritt und keine zu intensive Metabolisierung von Körperreserven notwendig wird.

In Tabelle 2 wird die Höhe der Futteraufnahme gezeigt, die in Abhängigkeit von der Energiekonzentration der Ration nach GfE (2001) und NRC (2001) für ein bestimmtes Leistungsniveau erforderlich ist.

In den ersten Laktationswochen reicht die Futteraufnahmekapazität der Tiere jedoch meistens nicht aus, um genügend Energie für die sezernierte Milch bereit zu stellen (Tabelle 3). Negative Energiebilanzen und die Metabolisierung von Körpersubstanz sind die Folge, so dass Hochleistungstiere in ketotische Stoffwechselsituationen (Ketose als „Berufskrankheit“ der Hochleistungskuh) gelangen können.

Tabelle 2
Trockensubstanzaufnahme (kg/Tag) von Milchkühen nach GfE (2001) bzw. NRC (2001) in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren

	Einflussfaktoren	Milchleistung kg/Tag			
		25	35	40	45
	Energiegehalt Futter (MJ NEL/kg T)				
GfE (2001)	6,4	18,4	23,9		-
(650 kg LM/Tier)	7,2	16,7	21,3		25,9
	Lebendmasse (kg/Tier)				
NRC (2001)	680 (Holstein)	20,3	23,6		26,9
	454 (Jersey)	18,0	21,7	23,5	-

Tabelle 3
Einfluss des Laktationsstadiums auf Futteraufnahme, Leistungshöhe und weitere Kennzahlen bei Milchkühen (n= 8, TMR mit 45 % Konzentrat, Hattan et al., 2000)

Laktationswoche	T-Aufnahme	Milchleistung	BCS	Verdaulichkeit Energie	Energiebilanz
	kg/Tag	kg/Tag		%	MJ/Tag
0	-	-	2,7	-	-
6	24,1	51,7	2,3	69,4	-21
12	25,3	47,7	2,4	69,4	-6
18	25,1	43,9	2,4	71,0	8
24	23,7	39,6	2,5	71,1	12
30	23,3	35,4	-	71,9	15

Es ist keine Seltenheit, dass zu Laktationsbeginn Energie für bis zu 1.000 kg Milch aus dem Abbau von Körpersubstanz bereitgestellt werden muss. Für den Tierernährer wird es auch 2025 noch darauf ankommen, Rationen bereitzustellen, die die Voraussetzung für eine hohe Futter- bzw. Energieaufnahme der Kühe mit hohen Leistungen darstellen. Als wesentliche Einflussfaktoren auf die Höhe der Futteraufnahme sind anzusehen:

- Züchtung auf leistungsbereite Tiere mit hoher Futteraufnahme
- körperlicher Zustand (Gesundheit, Trächtigkeit, Verfettung, BCS u. a.)
- Bereitstellung von nährstoff- und energiereichem Grundfutter mit hoher Qualität, guter Abbaubarkeit im Pansen und ausreichender Struktur
- bedarfsgerechte Ergänzung mit Nährstoffen durch leistungsgerechte Kraftfuttergaben (Vermeidung hoher Einzelgaben)
- vielfältige Rationen, Vermeidung abrupter Rationsumstellungen
- ausreichend lange Fresszeiten bzw. ständiger Zugang zu frischem Futter
- Optimaler Kuhkomfort (Ruhe, Steh- und Liegeflächen, Wasser, Stallluft)

4 Strukturwirksamkeit des Grundfutters

Milchkühe werden auch 2025 selbst in den westlichen Industrieländern „weiterhin zu der Familie der Wiederkäuer“ gehören. Kau- und Wiederkauzeiten zwischen jeweils sechs bis acht Stunden werden deshalb auch dann noch eine wichtige Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit des „Systems Pansen“ sein. Es ist zu erwarten, dass dann präzisere Systeme zur Bewertung der Strukturwirksamkeit der Grobfuttermittel vorliegen als zur Zeit. Gegenwärtig wird in Deutschland überwiegend das System von Piatkowski et al. (1990) und Hoffmann (1990) zur Bewertung der Strukturwirksamkeit der Rohfaser bei der Rationsgestaltung berücksichtigt. Neue Ansätze bietet der Vorschlag von De Brabander et al. (1999). In den neuen Versorgungsempfehlungen der GfE (2001) werden beide Vorschläge vergleichend vorgestellt. Untersuchungen von Meyer et al. (2001, 2002) hatten die erheblichen Differenzen zwischen beiden Systemen in der Bewertung der Strukturwirkung von Grassilagen zum Gegenstand. Je 30 in zwei Gruppen (A, B) aufgeteilte Milchkühe erhielten über einen Zeitraum von 91 Tagen eine aus Grassilage und Kraftfutter zusammengestellte Ration. Gruppe A wurde während dieses Versuchs der Empfehlung von Piatkowski et al. (1990) und Hoffmann (1990) entsprechend ausreichend mit Strukturfutter versorgt. Gruppe B erhielt anfangs die gleiche Ration. Im Verlauf des Versuchs wurde für diese Gruppe der Anteil der Grassilage bei entsprechender Anhebung des Kraftfutteranteils in vier Schritten bis zum annähernden Erreichen des kritischen „Strukturwertes“ nach De Brabander et al. (1999) herabgesetzt. Zum Abschluss des Versuchs erhielten alle Kühe über drei Wochen Grassilage zur freien Aufnahme (Tabelle 4).

Tabelle 4
Futteraufnahme und Grundfutteranteil (Meyer et al., 2001)

Tag	Grundfutter-aufnahme		Kraftfutter-aufnahme		Grundfutter-anteil	
	A	B	A	B	A	B
	kg T	kg T	kg T	kg T	% der gesamten T-Aufnahme	
1-14	10,0	9,8	8,3	8,4	54,6	53,7
15-28	8,7	7,5	8,7	9,6	50,0	43,8
29-42	8,9	6,5	8,6	10,6	50,9	38,1
43-56	9,6	5,9	8,3	11,3	53,6	34,2
57-70	10,3	5,4	8,0	11,2	56,1	32,4
71-91	11,0	10,2	4,4	4,5	71,4	69,0

Aufgrund des in Tabelle 5 dargestellten Einflusses der unterschiedlichen Strukturversorgung auf die Milchleistung sowie ergänzender Untersuchungen zum Wiederkauverhalten der Kühe kommen die Autoren zu dem Schluss, dass im System nach De Brabander et al. (1999) die Strukturwirksamkeit von Grassilage überbewertet wird.

Tabelle 5
Einfluss unterschiedlicher Strukturfutteranteile auf die Milchleistung (Meyer et al., 2001)

Tag	Milchmenge		Fettgehalt		Eiweißgehalt		FCM	
	A	B	A	B	A	B	A	B
	kg	kg	%	%	%	%	kg	kg
1-14	26,6	26,3	4,42	4,37	3,31	3,41	28,0	27,7
15-28	25,8	25,5	4,37	4,28	3,30	3,43	26,9	26,5
29-42	24,1	23,5	4,39	4,23	3,33	3,47	25,3	24,3
43-56	23,1	22,5	4,36	4,01	3,34	3,54	24,1	22,2
57-70	21,5	19,6	4,29	4,01	3,37	3,56	22,2	19,6
71-91	17,9	18,1	4,49	4,42	3,46	3,55	19,2	19,2

Weitere Studien unter Einbeziehung verschiedener Faserfraktionen (z. B. NDF, ADF) und weiterer Eigenschaften der Futtermittel sowie tierphysiologischer Parameter (Kau- und Wiederkauverhalten der Tiere, pansenphysiologische Parameter, Milchleistung und Milchinhaltsstoffe) erscheinen notwendig, um die Strukturwirksamkeit der Futtermittel bzw. Ration zukünftig besser bewerten zu können.

5 Eignung ausgewählter Grundfuttermittel

Mit ansteigender Futteraufnahme bei höheren Leistungen vermindert sich die Aufenthaltsdauer des Futters im Pansen bzw. die Passagerate durch den Pansen nimmt zu (Tabelle 6). Beispielsweise hat eine Erhöhung des Ernährungsniveaus von 2,0 (≈ 13 kg T/Tier und Tag) auf 4,0 (≈ 25 kg T/Tier und Tag) einen Anstieg der Passagerate von 0,052 auf 0,096 je h zur Folge. Demnach passieren je Stunde statt 5,2 % der im Pansen befindlichen Futtermenge 9,6 % die Vormägen. Das hat zur Folge, dass vor allem die zellulolytischen Mikroben, die gewisse Zeit für den Zellwandabbau benötigen, den Wettlauf mit der Zeit teilweise verlieren. Die Konsequenz ist eine verminderte Verdaulichkeit zellwandreicher Grundfuttermittel im Pansen und damit im gesamten Verdauungstrakt, da ß-glykosidisch gebundene Kohlenhydrate fast ausschließlich im Pansen abgebaut werden. Ørskov et al. (1988) ermittelten zwischen Passagerate der Partikel und der scheinbaren Verdaulichkeit eine negative Korrelation von –0,81.

Bei hohen Passageraten können dann Futtermittel an Bedeutung gewinnen, deren potenziell nutzbaren Nährstoffe in kurzer Zeit abgebaut werden können. Diesbezüglich bestehen deutliche Unterschiede zwischen Gräsern und Leguminosen (Flachowsky et al., 1999; van Soest 1996).

Tabelle 6
Zusammenhang zwischen Ernährungsniveau (EN=1≅Erhaltungsbedarf), Passagerate des Futters und zu erwartender Trockenmasseaufnahme bei Milchkühen (AFRC, 1993)

EN	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Passagerate je h	0,019	0,037	0,052	0,066	0,077	0,087	0,096	0,104
zu erwartende Trockenmasse-aufnahme kg/Tier/Tag	6	9	12,5	16	19	22	25	28

Während Gräser Abbauraten (Anteil der Nährstoffe, der je Stunde im Pansen abgebaut werden kann) von maximal lediglich 5 % je Stunde aufweisen, können diese Werte bei Leguminosen bis zu 12 % betragen. Daraus resultiert ein bei hoher Futteraufnahme bzw. hoher Passagerate und kurzer Aufenthaltsdauer im Pansen geringerer Rückgang in der Verdaulichkeit von Leguminosen als von Gräsern. Die hierdurch mögliche höhere Futteraufnahme kann im Einzelfall mehr zur Nährstoffversorgung der Tiere beitragen als die prinzipiell höhere Verdaulichkeit und damit der höhere Energiegehalt der Gräser. Weißklee zeichnet sich durch besonders hohe Abbauraten aus (Abbildung 2), aber auch Luzerne und Rotklee liegen über den für Gräser gemessenen Werten.

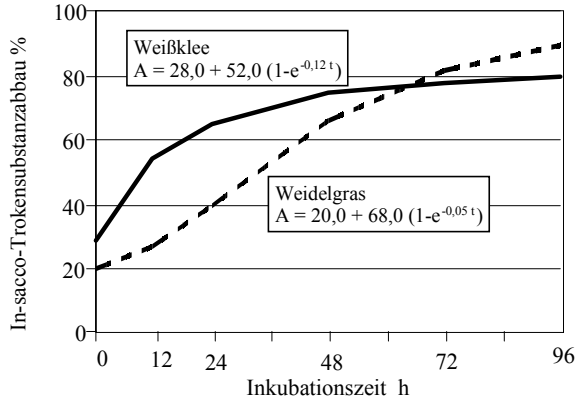


Abbildung 2
In sacco-Trockensubstanzabbau von Weißklee und Weidelgras bei etwa vergleichbarem Vegetationsstadium in Abhängigkeit von der Inkubationszeit im Pansen (Flachowsky et al. 1999)

In Tabelle 7 sind Zusammenhänge zwischen ruminaler Abbaubarkeit, zu erwartender Höhe der Grundfutteraufnahme und scheinbarer Verdaulichkeit für typische Grundfuttermittel zusammengestellt.

Tabelle 7
Zusammenhänge zwischen Abbau im Pansen, Höhe der Grundfutteraufnahme und scheinbarer Verdaulichkeit

Parameter	Auswirkungen auf Futteraufnahme und scheinbare Verdaulichkeit			
Potentielle Abbaubarkeit	hoch		niedrig	
Abbaurate	hoch (Weißklee)	niedrig (Gräser, frühe Nutzung)	hoch (Luzerne)	niedrig (Gräser, späte Nutzung)
Grundfutter-aufnahme	hoch	niedrig	hoch, wenn zügiger Weitertransport des Unverdaulichen	niedrig
Scheinbare Verdaulichkeit bei Fütterung auf Erhaltungsniveau	mittel bis hoch	hoch	niedrig	niedrig bis mittel
Rückgang der scheinbaren Verdaulichkeit bei höherer Futteraufnahme	niedrig	hoch	niedrig	hoch

Leguminosen könnten demnach bei erforderlicher höherer Futteraufnahme zukünftig eine größere Bedeutung in der Milchkuhfütterung erlangen als bisher.

In Tabelle 8 wird stichpunktartig eine Bewertung der Eignung verschiedener Grundfuttermittel bzw. -gruppen für die Milchviehfütterung vorgenommen. Ergänzend ist jedoch zu berücksichtigen, dass höhere Futteraufnahmen zwar eine verminderte Verdaulichkeit, aber auch geringere Methanverluste je kg Futteraufnahme zur Folge haben, so dass nicht mit einer linearen Abnahme der Energiebereitstellung je kg Futter bei steigender Futteraufnahme zu rechnen ist.

Tabelle 8
Bewertung ausgewählter Grundfuttermittel für die Milchkuhfütterung

Futtermittel bzw. Futtermittelgruppe	Ausgewählte Vorteile	bzw. Grenzen
Gräser, außer Mais	Flexible Nutzung (Weide, Stall; Silage, Heu, u.a.)	Zügige Lignifizierung (begrenzte Aufnahme)
Leguminosen (Rotklee, Luzerne, u.a.)	Zügiger Abbau potentiell abbaubarer Nährstoffe im Pansen (hohe Aufnahme)	Geringe Energiekonzentration
Maissilage	Hohe Energiekonzentration, gute Silierbarkeit	Geringer Proteingehalt, geringe aerobe Stabilität
Kruziferen (Raps, Rübsen, u.a.)	Zwischenfruchtnutzung	Gehalt an unerwünschten Inhaltsstoffen

6 Proteinversorgung

Ziel einer bedarfsgerechten und umweltschonenden Proteinversorgung der Milchkühe ist es, die Tiere sowohl mit ausreichenden Mengen an aus dem Darm absorbierbaren Aminosäuren als auch mit im Pansen verfügbarem Stickstoff für die mikrobielle Proteinsynthese und für einen optimalen Zellwandabbau zu versorgen, ohne dabei den Stoffwechsel der Tiere und die Umwelt unnötig mit Stickstoff zu belasten. Um diese Ziele zu realisieren, wurden im deutschen Proteinbewertungssystem (GfE 2001) Empfehlungen für die Versorgung der Kühe mit nutzbarem Rohprotein am Dünndarm (nXP) und die ruminale N-Bilanz (RNB) gegeben. Zukünftig ist damit zu rechnen, dass das nXP-System zu einem System auf der Basis nutzbarer Aminosäuren (nAS) weiterentwickelt wird. Dies setzt jedoch zunächst eine genauere Kenntnis des Bedarfes an einzelnen Aminosäuren am Duodenum sowie der Faktoren, die das Aminosäurenmuster des nXP am Dünndarm beeinflussen, voraus.

Ein anderes Problem betrifft die Nutzung von Aminosäuren im Citratzyklus zur Energiegewinnung bzw. zur Gluconeogenese. Verschiedene Autoren (z. B. Abel et al., 1997; Danfear, 1999; Gabel und Voigt, 2000; Theurer et al., 1999) gehen davon aus, dass bis zu 50 %, der mittels Gluconeogenese erzeugten Glucose (bis zu 3 kg je Tier und Tag bei Hochleistungskühen) aus glucoplastischen Aminosäuren stammen können. Demnach ist es nicht verwunderlich, dass der erwartete Effekt zugesetzter pansenstabiler Aminosäuren, selbst wenn tatsäch-

lich ein Mangel an diesen vorgelegen haben sollte, nicht in jedem Falle eintritt (z. B. Jochmann et al., 1996). Zu dieser Thematik werden in den nächsten Jahren weitere Arbeiten erforderlich sein, um den zu erwartenden Effekt eines Aminosäurenzusatzes auf die Leistung der Tiere bzw. die Qualität der Milch besser vorhersagen zu können.

7 Mineralstoffe und Vitamine

Mit höheren Milchleistungen steigt auch der Bedarf an diesen Stoffgruppen an (GfE, 2001; NRC, 2001). Dabei ist allerdings zu beobachten, dass Empfehlungen von Herstellern von Vitaminpräparaten häufig über denen wissenschaftlicher Gesellschaften liegen (Flachowsky, 2001). Als Begründungen werden eine veränderte Fütterung und andere Verhältnisse im Pansen, ein höherer Bedarf bei höherer Leistung und gegenwärtig nicht ausreichend erkannte Effekte verschiedener Vitamine („Sondereffekte"), vor allem von B-Vitaminen, angeführt.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die ernährungsphysiologische Bedeutung verschiedener Vitamine noch nicht umfassend erkannt ist. Bezüglich der B-Vitamine werden z. B. gegenwärtig weder von der GfE (2001) noch vom NRC (2001) Versorgungsempfehlungen gegeben.

Weitere Grundlagenarbeiten, Studien über die Umsetzungen (Abbau, Neubildung) von Vitaminen im Pansen der Hochleistungskühe, Untersuchungen, die die sogenannten „Sondereffekte" reproduzierbar belegen und aufklären sowie gezielte Dosis-Wirkungs-Studien mit verschiedenen Vitaminen sind für eine wissenschaftliche Ableitung von Versorgungsempfehlungen erforderlich.

Da derartige Untersuchungen jedoch experimentell und auch analytisch sehr aufwendig sind, Überdosierungen, vor allem der B-Vitamine zwar Geld kosten, aber in der Regel weder der Milchkuh noch dem Menschen oder der Umwelt schaden, ist damit zu rechnen, dass der gegenwärtige Trend der Vitamin-Hochdosierungen sich mit zunehmender Leistungssteigerung fortsetzt.

Für die Mengen- und Spurenelemente trifft diese Einschätzung nicht zu. Dort wird zunehmend eine möglichst exakte Bedarfsdeckung angestrebt, um unter anderem auch die Ausscheidungen (nicht nur P, sondern auch Cu, Zn u. a.) und damit die Flächenbelastung möglichst niedrig zu halten. Sollte die Bioverfügbarkeit, vor allem wichtiger Spurenelemente (z. B. Cu, Zn, Se, Mn) aus den Futtermitteln in Zukunft besser eingeschätzt werden können, so ist zu erwarten, dass sogenannte „organische" Spurenelementverbindungen (Chelate u. a.) zur Deckung des Bedarfes „auf den i-Punkt" an Bedeutung gewinnen. Bisher vorliegende Befunde bestätigen nicht in jedem Fall die den Organo-Spurenelementen nachgesagten Wirkungen (Flachowsky, 1997).

8 Tränkwasser und -qualität

Die ausreichende Bereitstellung von qualitativ hochwertigem® Tränkwasser ist ebenfalls eine wesentliche Voraussetzung für hohe Milchleistungen gesunder Kühe. Während im NRC (2001) mehrere Modelle zur Vorhersage der Wasseraufnahme und zu maximalen Gehalten an unerwünschten Stoffen mitgeteilt werden, spielten diese Aspekte in Deutschland bisher kaum eine Rolle.

Bei einer kürzlich vorgenommenen Versuchsauswertung konnten Umgebungstemperatur, Höhe der Milchleistung und Lebendmasse der Tiere als wichtigste Einflussgrößen auf die Höhe der Wasseraufnahme ermittelt werden (Tabelle 9).

Tabelle 9
Wasseraufnahme und Wasserqualität

Wesentliche Einflussfaktoren auf die Wasseraufnahme von Milchkühen (Schätzgleichung nach Everginfhoff et al., 2002)	
Wasseraufnahme (kg/Tag) =	-39,2 +1,54 x mittlere Umgebungstemperatur (°C) +1,54 x Milchleistung (kg/Tag) +0,37 x Futteraufnahme (kg/T/Tag +0,15 x T-Gehalt der Ration (%) +0,065 x Lebendmasse (kg) +0,047 x Laktationstag

Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Trinkwasser (Grenzwerte in mg je l Wasser, NRC 2001)			
NO_3	< 44	Fluor	< 2
Arsen	< 0,05	Mangan	< 0,05
Cadmium	< 0,005	Blei	< 0,01
Cobalt	< 1	Selen	< 0,05
Kupfer	< 1	Zink	< 5,0

9 Nicht-essentielle Futterzusatzstoffe

Als nicht essentielle Zusatzstoffe werden Substanzen zusammengefasst, die für die Milchkühe nicht lebensnotwendig sind, die aber unter bestimmten Bedingungen die Leistungen der Tiere oder die Umwandlung der Futtermittel in eine gewünschte Richtung positiv beeinflussen können. Zu dieser Stoffgruppe zählen z. B. Puffersubstanzen ($NaHCO_3$, MgO u. a.), Probiotika (Hefen, Milchsäurebakterien u. a.), Enzyme, Carnitin und verschiedene pflanzliche Substanzen (Kräuter, ätherische Öle, Extrakte u. a.).

Die durch Zusatz dieser Substanzen in Milchkuhrationen erzielten Ergebnisse sind nicht immer eindeutig und können auch nicht in jedem Fall reproduziert werden. Dennoch ist zu erwarten, dass der Einsatz der erwähnten und weiterer Zusatzstoffe in der Milchkuhfütterung in den nächsten Jahren weiter zunehmen wird.
In Anlehnung an ein Zitat von Willet und Stampfer (2001) zur Vitaminaufnahme beim Menschen kann eingeschätzt werden, dass „der Einsatz derartiger Zusatzstoffe in der Milchkuhfütterung dann sinnvoll ist, wenn mit großer Wahrscheinlichkeit der Nutzen größer ist als der Schaden.“ Diese Feststellung trifft auch auf den Vitaminzusatz, vor allem auf die B-Vitamine, zu.

10 Optimale Rationsgestaltung

Bei der Optimierung der Rationen wird es auch 2025 noch darauf ankommen, die Verhältnisse im „Biotechnikum“ Pansen (pH-Wert: >6,0, NH_3-N: 5-25 mg/100 ml Pansensaft) so zu gestalten, dass die Kuh gesund bleibt, hohe Futtermengen aufnimmt und die Nährstoffe möglichst effizient in Milch umwandelt. Einige Voraussetzungen zur Erreichung dieses Zieles wurden in den vorhergehenden Abschnitten bereits beschrieben. In Tabelle 10 sind ausgewählte Anforderungen an die Rationsgestaltung in Abhängigkeit von der Leistungshöhe der Kühe zusammengestellt.

Tabelle 10
Anforderungen an die Rationsgestaltung bei höheren Milchleistungen (650 kg LM, 4 % Fett, 3,2 MJ/kg Milch)

Parameter		Milchleistung kg/Tag		
		0	20	40
Vielfaches des Erhaltungsbedarfes (≈ 38 MJ NEL/Tag)		1	2,7	4,5
Erforderliche Verdaulichkeit der Energie	%	68	76	80
Erforderliche Engergiedichte	MJ NEL/kg T	5,0	6,5	7,2
Erforderliche Strukturmenge				
Strukturwirksame Rohfaser	kg/Tier/Tag	2,0	2,3	2,6
Strukturwert	SW/kg T	0,8	0,97	1,17
Nutzbares Protein	g nXP/Tier/Tag	450	2.050	3.680

Neben ausreichender Strukturfutterbereitstellung ist bei der Rationsgestaltung auch darauf zu achten, dass weder zu große Mengen an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten (Zucker, Stärke) je Zeiteinheit in den Pansen gelangen (pH-Wert: <6,00, Pansenacidose) noch dass zu viel Stärke (<2,0 kg) den Pansen unabgebaut passiert (Lebzien et al., 2001). In umfangreichen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass das Verdauungsvermögen des Dünndarms für Stärke bei Wiederkäuern begrenzt ist (Abbildung 3) und dass sowohl bei hohen Stärkegaben je Zeiteinheit als auch bei hohem Stärke-Bypass erhebliche Nachteile für Milchkühe und Mensch eintreten können:

- Pansenacidose (niedriger pH-Wert)
  - verminderte Futteraufnahme bei hohen Mengen schnell fermentierbarer Stärke; dadurch evtl. ernährungsbedingte Erkrankungen (z. B. Ketose)
  - verminderte Verdaulichkeit von Zellwandbestandteilen
  - Pansenkeratose
- erhöhte Durchfallhäufigkeit
- eventuell erhöhte Stärkeausscheidung im Kot
- Gefahr säureresistenter E. coli (EHEC) im Kot
- verminderter Milchfettgehalt (mehr trans-Fettsäuren bei niedrigem Pansen-pH)

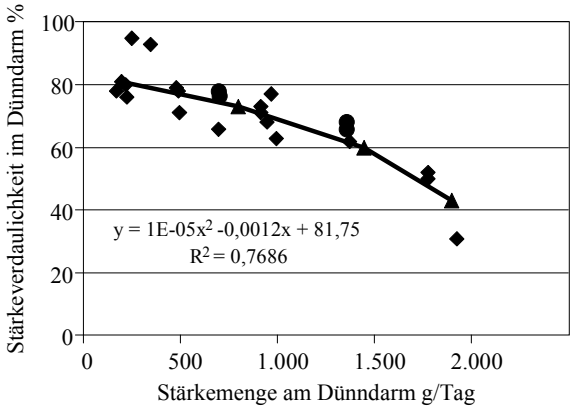


Abbildung 3
Einfluss der Menge an Bypass-Stärke auf die Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm (nach Matthè, 2001)

Nach Gabel und Voigt (2000) sollte die Fütterungsstrategie darauf ausgerichtet sein, die postruminale Stärkeverdaulichkeit bei Wahrung einer Stärkeverdaulichkeit im gesamten Trakt von >95 % auszuschöpfen. Dies kann bedeuten, dass bei hohen Mengen schwer abbaubarer Stärke (z. B. Körnermais, Milokorn) in der Ration, Zusatzbehandlungen, wie z. B. Dampfbehandlung u. a., zur Erhöhung der ruminalen Stärkeabbaubarkeit zweckmäßig sind (z. B. Huber et al., 1994).

11 Futterverabreichung und „Kuhkomfort“

Zum „Kuhkomfort“ kann die Tierernährung insoweit beitragen, als dass immer ausreichende Mengen an Futter und Wasser in hygienisch einwandfreiem Zustand zur Verfügung gestellt werden und dass der Kuh zum Fressen, Wiederkauen und Verdauen ausreichend Platz und Ruhe zugestanden werden.

Weitere Aspekte des „Kuhkomforts“ werden von Sommer und Bockisch (2002) behandelt.

Auch in Zukunft werden verschiedene Haltungs- und Fütterungsvarianten existieren. Obwohl die Weidehaltung der Milchkühe einen bestimmten Umfang einnehmen wird, ist zu erwarten, dass eine ganzjährige Fütterung im Stall dominiert. Dabei werden Silagen aus Mais und Gras überwiegen, Leguminosen werden aber eine gewisse Rolle spielen. In Tabelle 11 sind Beispielrationen für unterschiedliche Milchleistungen zusammengestellt.

Tabelle 11
Beispielrationen (kg T/Tag) für verschiedene Laktationsabschnitte bei Stallfütterung von Milchkühen (Lebendmasse: 700 kg/Tier)

Laktationsabschnitte	**1.**	**2.**	**3.**	
Milchleistung kg/FCMTag	**60**	**40**	**30**	**Trocken-steher**
Maissilage	10	6	5	-
Grasprodukte (Heu/Silage)	-	3	5	6
Leguminosen (Luzerne, Rotklee)	4	3	3	2
Kraftfutter				
Nebenprodukte	6	6	4	2
Getreide	10	6	3	-
Gesamt-T-Aufnahme	30	24	20	10

12 Nachdenken über grenzenlose Leistungssteigerungen

Welche Milchleistungen sind 2025 zu erwarten? Eigentlich kann diese Frage nur im Sinne des eingangs erwähnten Thaer-Zitates (1810) beantwortet werden. Bei geringen Kosten können 4.000 kg Milch je Kuh und Jahr profitabel sein (z. B. Neuseeland; Hemme, 2002), unter europäischen Bedingungen werden sicherlich 6.000 bis 8.000 kg Milch vermutlich aber noch mehr benötigt.
Einzeltierleistungen von 20.000 und mehr kg je Laktation werden keine Seltenheit sein, selbst Herdenleistungen von 15.000 kg FCM je Laktation sind zu erwarten.
Andererseits dürfen die objektiven Faktoren für Leistungsgrenzen nicht übersehen werden. Dazu zählen u. a.:

- physiologisches Vermögen der Milchkühe bezüglich
  - Energie- und Nährstoffaufnahme bei einer Mindestmenge an Strukturfutter
  - Abbau- und Synthesevermögen der Mikroorganismen in den Vormägen, Verdauungs- und Absorptionsvermögen
  - -Mobilisationsvermögen von Nährstoffen im Organismus
  - Syntheseleistungen im Stoffwechsel (vor allem Leber und Milchdrüse)
- Stabilität und Belastungsvermögen des Skelettsystems
- Krankheitsanfälligkeit (Immunsystem) der Hochleistungstiere
- Reproduktionsleistung

Tabelle 12
Futtereinsatz und Primärenergieverbrauch zur Futtererzeugung bei Milchkühen in Abhängigkeit von der Leistungshöhe (Angaben je Jahr)

		Milchleistung kg/Kuh/Jahr				
		4.000	6.000	8.000	10.000	12.000
Trockenmasseaufnahme						
Grundfutter	t/Jahr	4,2	5,0	5,8	6,8	7,6
Kraftfutter	t/Jahr	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
		0,2	1,0	1,8	2,8	3,6
Primärenergieverbrauch zur Futtererzeugung [1)]	GJ/Jahr	4,6	7,0	9,4	12,4	14,8
Primärenergieverbrauch je kg Milch	MJ/kg	1,15	1,17	1,20	1,24	1,25

1) 3 MJ/kg T bei Kraftfutter; 1 MJ/kg T bei Grundfutter (Mischung aus Gras- und Maissilage, nach Bockisch et al. 2000)

Es darf auch nicht übersehen werden, dass die nährstoffökonomischen und ökologischen Vorteile hoher Leistungen mit zunehmendem Leistungsniveau relativ geringer werden (Flachowsky, 2002). Der Primärenergieeinsatz je kg Milch dürfte mit hohen Leistungen sogar ansteigen (Tabelle 12).

13 Forschungsbedarf

Damit die Tierernährung mit den vermutlich weiter ansteigenden Leistungen Schritt halten kann, sind wissenschaftlich u. a. folgende Fragestellungen weiter zu bearbeiten:

- hohe Futter- bzw. **Energieaufnahme** bei ausreichender **Strukturfutterbereitstellung**
- Zusammenhänge zwischen hoher Futteraufnahme und **Verdaulichkeit bzw. energetischer Verwertung**
- Reduzierung **negativer Auswirkungen auf Gesundheit und Fruchtbarkeit**
- Verbesserung der Kenntnisse über die **Umsetzungen im Verdauungstrakt** (z. B. nAS)
- Beiträge zur Erhöhung der Milcherzeugung aus **globaler Sicht**
- nährstoffökonomische und ökologische Aspekte zum **„Gesamtsystem“** Rind (Milch, Fleisch, Landschaftspflege u. a.)
- Visionen
  - Verstärkte Nutzung von Ligno-Zellu-lose im Pansen (anaerobe Pilze, Zusatzstoffe u. a.)

- Beeinflussung der **hormonalen Steuerung**
- Senkung des **Laktose-Gehaltes** der Milch (kaum möglich, s. Niemann, 2002)
- Beiträge zur **„Designer"-Milch** bzw. **„Functional Foods"** (s. Jahreis, 2002)

14 Schlussfolgerungen und Fazit

Schlussfolgernd kann festgestellt werden:

- mit höheren Leistungen steigen die Stoffwechselbelastungen der Kühe an, wie z. B.
  - Umsetzungen im Pansen (pH-Wert, NH_3 u. a.)
  - Mobilisationsvermögen (Energie, Ca u. a.)
  - Leber, Milchdrüse
  - Reproduktionssystem.
- Die Tierernährung kann wesentliche Beiträge zur Erzeugung hoher Milchleistungen mit gesunden Kühen leisten; z. B. durch:
  - hohe Futter- bzw. Energieaufnahme
  - qualitativ hochwertiges Grundfutter (Energie, Nährstoffe, Struktur)
  - Optimierung von Rationsgestaltung, Fütterungsregime sowie Pansenfermentation.
- nährstoffökonomische, ökologische und energetische Vorteile werden mit zunehmender Milchleistung relativ geringer und können sich zum Teil sogar umkehren.
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist die Bewertung von Gesamtsystemen (z. B. Milch- und Rindfleischerzeugung) zweckmäßig.
- Bei ausreichender Lebensmittelbereitstellung wird die Prozessqualität zunehmend wichtig für die Akzeptanz der Lebensmittel.

Im Vergleich zu anderen Fachdisziplinen erscheint die Tierernährung relativ konservativ. Diese Situation resultiert vor allem aus den Abhängigkeiten von anderen Disziplinen bzw. Vorleistungen (Tierzucht, Jungrinderaufzucht, Futterbau und –bereitstellung u. a.) und der Optimierung dieser Vorleistungen.

Bei entsprechenden Voraussetzungen, wie

- optimale Jungrinderaufzucht (Tierhaltung)
- hohe Futteraufnahme/hohes Mobilisationsvermögen (Tierzucht)
- Verbesserung des Kuhkomforts (Tierhaltung/Tiermedizin)
- Bereitstellung energiereicher und gern gefressener Futtermittel (Futterbau)

kann die Tierernährung bei steigenden Milchleistungen durch optimale Rationsgestaltung und Fütterung weitgehend Schritt halten.

Physiologische, ökonomische und nährstoffökonomische sowie ethische Aspekte sprechen jedoch gegen eine „grenzenlose" Leistungssteigerung.

Literatur

Abel HJ, Luislampe J, Ruße S, Ahrens F (1997): Zur Kinetik des Glucoseumsatzes bei Milchkühen mit abomasalen Casein- oder Wasserinfusionen. Schriftenreihe FBN, Dummerstorf 10: 50-58

AFRC (1993): Energy and Protein Requirements of Ruminants, CAB International, Wallingford, UK

Bockisch FJ, Ahlgrimm HJ, Böhme H, Bramm A, Dämmgen U, Flachowsky G, Heinemeyer O, Höppner F, Murphy D, Rolasik J, Röver M, Sohler S (2000): Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 211; 206 S.

Breves G, Rodehutscord M (1999): Gibt es Grenzen in der Zucht auf Milchleistung? – Aus der Sicht der Physiologie. Züchtungskunde 71: 420-427

Danfaer A. (1999):: Nutrient flow across the liver in dairy cows. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 8: 13-25

De Brabander DL, De Boever JL, Vanacker JM, Boucqué ChV, Bottermany SM (1999):: Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In Recent Advances in Animal Nutrition by P.C. Garnsworty and J. Wiseman (Ed.). Nottingham Univ. Press, 111-145

Everinghoff , Meyer U, Gädeken D, Flachowsky G (2002): Untersuchungen zur Wasseraufnahme von Milchkühen. Forum angewandter Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 20./21.03.2002 Fulda, 40-42

Flachowsky G (1997): Bewertung organischer Spurenelementverbindungen in der Tierernährung. 17. Arbeitstagung Mengen- und Spurenelemente, 05./06. 12. 1997, Jena, 599-619

Flachowsky G (2001): Empfehlungen zur Vitaminversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere – eine kritische Betrachtung. Proc. 8. Symposium "Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier", Jena, 26/27.09.2001, 15-30

Flachowsky G, Lebzien P, Daenicke R (1999): Zur Bedeutung von Leguminosen als Grundfutterkomponenten in Rationen von Hochleistungskühen. Proc. 111. VDLUFA-Kongreß, 13.-17.09.1999, Halle/Saale, 293-296.

Flachowsky G, Lebzien P, Meyer U (2002): Vorteile und Grenzen hoher Milchleistungen aus der Sicht der Tierernährung. Züchtungskunde 74: 85-103

Flachowsky G, Loose K, Lebzien P, Matthé A, Gollnisch K, Daenicke R (2000): Zur Bereitstellung von Maisprodukten als Stärkequellen für Milchkühe. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 217; 71-85

Fleischer P, Metzner M, Beyersbach M, Hoedemaker M, Klee W (2001):: The relationship between milk yield and the incidence of some diseases in dairy cows. J. Dairy Sci. 84: 2025-2035

Gabel M, Voigt J (2000): Fütterung der Hochleistungskuh aus stofflicher und energetischer Sicht. Arch. Tierzucht 43: 62-70

GfE (2001): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8, Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt (Main); 136 S.

Hansen LB (2000): Consequences of selection for milk yield from a geneticist´s viewpoint. J. Dairy Sci. 83: 1145-1150.

Harms J, Studier K (2001): Mit dem Tierarzt auf Sparkurs. DLG-Mitteilungen 7/2001, 36-39

Hattan AJ, Beever DE, Cammell SB, Sutton JD (2000): energy metabolism in high yielding dairy cow during early lactation. Proc. Energy metabolism in animals, EAAP publ. No 103, 2001, Snekkersten, Denmark, 11.-16. Sept. 2000;325-328

Hemme T (2002): Wie wettbewerbsfähig ist die deutsche Milchproduktion im internationalen Vergleich? Tagung Milchproduktion 2025. Sonderheft Landbauforschung Völkenrode 2002, im Druck

Heuer C, Sschukken YH, Dobbelaar P(1999): Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield and culling in commercial dairy herds. J. Dairy Sci. 82: 295-304

Hoffmann M (Herausg., 1990): Tierfütterung. Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin, 2. Aufl. 320 S.

Huber JT, Theurer CB, Simas JM, Santos FP, Chen KH (1994): Effect shifting of starch digestibility on performance of dairy cows. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 3: 39

Jahreis, G. (2002): Milch- vom Natur –zum Designerprodukt ? Tagung Milchproduktion 2025, Sonderheft Landbauforschung Völkenrode 2002 (im Druck)

Jochmann K, Lebzien P, Flachowsky G (1996): Zum Einsatz pansenstabiler Aminosäuren in der Milchviehfütterung. Übers. Tierernährung 24:, 255-292

Lebzien P, Matthé A, Flachowsky G (2001): Bedeutung von Stärke für die Glucoseversorgung von Milchkühen. Kraftfutter/ Feed Magazine, Heft 10; 356-366

Lucy MC (2001):: Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end ? J. Dairy Sci. 84: 1277-1293

Matthé A (2001): Nährstoffumsetzungen im Verdauungstrakt des Rindes nach Einsatz unterschiedlicher Mengen an Mais- und Weizenstärke. Diss. Justus Liebig Univ. Gießen, 175 S

Meyer U, Gädeken D, Spolders M, Flachowsky G (2001): Physical structure value systems in dairy cattle feeding. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 10: 141

Meyer U, Gädeken D, Spolders M, Flachowsky G (2002): A comparison of recommendations for the fibre supply of dairy cows fed Total Mixed Rations (TMR). Proc. Soc. Nutr. Physiol. 11: 133

Niemann H (2002): Was können die Milchviehhalter von der Biotechnologie erwarten? Tagung Milchproduktion 2025. Sonderheft Landbauforschung Völkenrode 2002, im Druck

NRC (2001): Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th rev. ed., Update 2001, Washington D.C., Nat. Acad. Press: 381 p.

Piatkowski B, Gürtler H, Voigt J (1990): Grundzüge der Wiederkäuerernährung. Gustav-Fischer -Verlag Jena, Stuttgart

Ørskov, ER, Oiwang, I, Reid, GW (1988): A study on consistancy of differences between cows in rumen outflow rate of fibrous particles and other substrates and consequences for digestibility and intake of rouhages. Anim. Prod. 47: 45-51

Rehmage J (2002): Steigende Leistungsanforderungen an Milchkühe – Bleibt die Tiergesundheit auf der Strecke? Tagung Milchproduktion 2025. Sonderheft Landbauforschung Völkenrode 2002, im Druck

Stangassinger M. (2000): Indikatoren der metabolischen Leistungsgrenze bei Milchkühen. BAT-Beratertagung, Weihenstephan, 25./26.09.2000, 129-138

Taylor VJ, Hattan AJ, Bleach EC, Beever DE, Watthes DC (2001): Reproductive function in average and high yielding dairy cows. Occ. Publ. No. 26, Brit. Soc. Anim. Sci., 495-498

Thaer, AD (1810): Grundsätze der rationellen Landwirtschaft. Bd. 1-4, Berlin 1809-1812

Theurer CB, Huber JT, Delgado-Elorduy A, Wanderley R (1999): Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 82: 1950-1959

Vandeyhaar MJ (1998): Efficiency of nutrient use and relationship to profitability on dairy farms. J. Dairy Sci. 81: 272-282

Van Soest P (1996): Nutritional Ecology of the Ruminants. Cornell University Press, Ithaca and London, 2nd ed., 476 p.

Willet WC, Stamper MJ (2001): Clinical Practice: What vitamins should I be taking, doctor? N. Engl. J. Med. 345: 1819-1824

Yates CM, Mills J, France J, Cammell SB, Beever DE (2000): Development of strategies to provide cost effective means of reducing methane emissions from dairy cows. Proc. Energy metabolism in animals, EAAP publ. No. 103, 2001, Snekkersten, Denmark, 11.-16. Sept. 2000; 201-204

Steigende Leistungsanforderungen an Milchkühe – Bleibt die Tiergesundheit auf der Strecke?

Jürgen Rehage*

1 Einleitung

Mit der Einführung von Zuchtorganisationen, der Milchleistungskontrolle, der künstlichen Besamung, des Embryotransfers und anderer reproduktionstechnischer Maßnahmen ist ein beeindruckender Anstieg der jährlichen durchschnittlichen Milchleistung in der Schwarzbunten Milchviehzucht zu verzeichnen. So betrug im Kammergebiet Hannover die durchschnittliche Jahresleistung der MLP-Kühe im Jahre 1970 noch etwa 4.600 kg, im Jahr 2000 waren es bereits nahezu 8.000 kg Milch. Die jährliche Leistungssteigerung ist nahezu linear (Landwirtschaftskammer Hannover, 2001). Aus der Osnabrücker Herdbuchzucht (OHG) wurden 1994 noch 6 % der MLP-Kühe mit einer Jahresdurchschnittsleistung von mehr als 10.000 kg Milch gemeldet, im Jahre 2001 bereits 25 % der Kühe. Auch die Zahl der Betriebe mit einer durchschnittlichen Herdenleistung von über 10.000 kg Milch steigt kontinuierlich. Im OHG-Zuchtgebiet konnten 1994 nur 0,4 % der MLP-Herden eine Jahresdurchschnittleistung von 10.000 kg Milch aufweisen, bis zum Jahr 2001 stieg diese Zahl auf nahezu 10 % (OHG, 2002). Bei anhaltendem Trend würde demnach im Bundesgebiet eine durchschnittliche Milchleistung Schwarzbunter Kühe in Jahr 2025 von voraussichtlich etwa 11.000 bis 12.000 kg Milch zu erwarten sein, die der Top-10 % um weitere 10 bis 20 % höher. In Anbetracht dieser rasanten Entwicklung werden jedoch auch Bedenken geäußert, dass physiologische Leistungsgrenzen nicht überschritten werden können ohne die Tiergesundheit zu gefährden (Breves und Winckler, 1996). Unsere bisherigen Kenntnisse über die Physiologie der Milchkühe lassen eine definitiven Schluss, wo diese Grenzen liegen und ob sie nicht vielleicht sogar schon erreicht sind, nicht zu. Diese Frage ist aber aus Gründen des Tierschutzes, des Verbraucherschutzes (Lebensmittelqualität) und auch der Ökonomie (nur bei guter Herdengesundheit ist ein vernünftiges Betriebsergebnis zu erzielen) bedeutsam.

2 Gesundheitsrisiken in der Transitionperiod

Nach bisherigem Verständnis sind Gesundheitsrisiken für Milchkühe mit hoher Milchleistung vorrangig durch die Überforderung der Leistungen des Verdauungstraktes und des Energiestoffwechsel der Kühe zu erwarten (Drackley, 1999). Insbesondere in der Übergangsphase (Transitionperiod) von der Trockenstehzeit (etwa 30 Tage vor der Abkalbung), über die Abkalbung bis in die Frühlaktation (ersten 80 Tage der Laktation) sind sowohl Verdauungstrakt als auch Energiestoffwechsel der Milchkühe drastischen Anpassungs- und Umstellungsvorgängen unterworfen. In diesen Zeitraum fallen etwa 90 % der bei Milchkühen auftretenden Erkrankungen, wie z. B. Milchfieber, Nachgeburtsverhaltungen und Gebärmutterentzündungen, Labmagenverlagerungen, Ketosen und Leberverfettungen, Klauenlahmheiten, Infertilitäten sowie Euterentzündungen (Jordan und Fourdraine, 1993). Auf den ersten Blick Erkrankungen, die isoliert aufzutreten scheinen, da sie verschiedene Organsysteme oder Stoffwechselbereiche betreffen. Viele ältere und auch jüngere epidemiologische Studien haben jedoch gezeigt, dass die aufgeführten Erkrankungen interagieren, das Auftreten der Einen begünstigt wiederum das Auftreten anderer Erkrankungen (Abbildung1).

Die begrenzte Futteraufnahmekapazität in der Frühlaktation führt bei hochleistenden Milchkühen bereits heute zu negativer nutritiver Energiebilanz und durch hormonelle Adaptation zur Deckung dieser Energielücke, in erheblichem Umfang zur Mobilisierung von Körperreserven, insbesondere Fett, aber auch Protein (Bell, 1995).

* Prof. Dr. Jürgen Rehage. Klinik für Rinderkrankheiten, Tierärztliche Hochschule Hannover, Bischofsholer Damm 15, 30173 Hannover, e-mail: juergen.rehage@tiho-hannover.de.

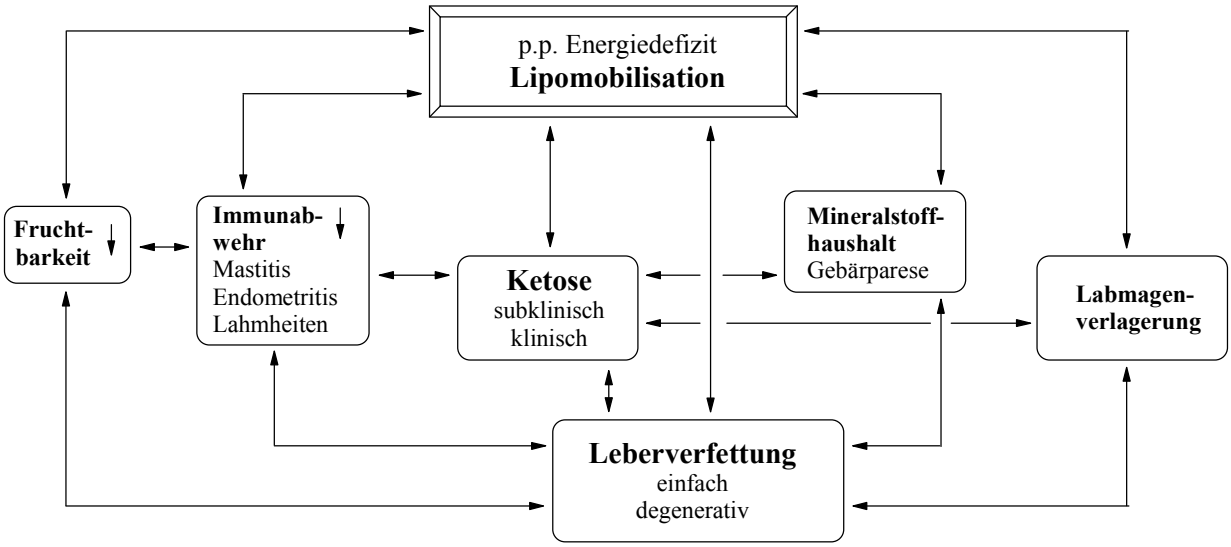


Abbildung 1
Interaktionen zwischen Lipomobilisation, Ketose und Leberverfettung sowie Erkrankungen extrahepatischer Organe bei Milchkühen (modifiziert nach Curtis et al., 1985; Gerloff et al., 1986; Erb, 1987; Erb und Gröhn, 1988; Gröhn et al., 1989, 1990, 1994, 1995; Correa et al., 1993; Geishauser, 1995; Rajala und Gröhn, 1998).

Die individuelle Fähigkeit der einzelnen Kuh in der „Transitionperiod“ angepasst hormonell auf das Energiedefizit zu reagieren entscheidet mit darüber, in wie weit die Lipidmobilisation in Leberverfettung, subklinischer oder auch klinischer Ketose mündet (Grummer, 1993; Drackley, 1999). Bei Auftreten einer Ketose ist wiederum das Risiko einer Labmagenverlagerung um das 39fache gesteigert (Robb et al., 1986). Ein weiterer Risikofaktor für Labmagenverlagerung ist, dass zur Minimierung des Energiedefizits frühlaktierender Kühe in deren Ration der Energie- auf Kosten des Strukturgehaltes erhöht wird (Geishauser, 1995). Auch peripartale Hypocalcämien begünstigen die Labmagenverlagerung, die Entgleisungen des Säure-Basenhaushaltes bei Labmagenverlagerung wiederum Hypocalcämie (Geishauser, 1995). Strukturarmut in der Ration bereitet ferner den Weg für latente Pansenazidosen und chronische, rezedivierende Klauenrehe (Nocek, 1997), eine häufige Ursache für Klauenlahmheiten in der Frühlaktation. In Zusammenhang mit erhöhten Blut-Ketonkörperspiegeln und Leberverfettungen ist wiederum mit beeinträchtigter Immunabwehr zu rechnen (Kehrli et al., 1989; Ropstad et al., 1989, Zerbe et al., 2000), was das Auftreten von Euter-, Gebärmutter- oder Gliedmaßenentzündungen begünstigt. Auch verminderte Fertilität ist letztlich in vielen Fällen eine Folge des Energiedefizits, Ketose und Leberverfettung sowie entzündlicher Erkrankungen des Genitalapparats (Herdt, 1991; Grunert, 1993; Gröhn et al., 1994). Somit steht die Mehrzahl der peripartalen Erkrankungen ursächlich in einem Zusammenhang mit Störungen des Energiestoffwechsels der Kühe. Darüber hinaus wird dieser wiederum durch peripartale Erkrankungen, in deren Folge das Allgemeinbefinden und der Appetit vermindert sind, zusätzlich belastet. Dies ist nicht selten eine Situation, die mit dem Verlust des Tieres endet. Eine Schlüsselrolle in der Gesunderhaltung der Milchkühe kommt somit zweifelfrei der Ernährung der Tiere zu, nämlich der Kunst unter Berücksichtigung der begrenzten Futteraufnahmekapazität eine hinreichende Energieversorgung bei gleichzeitig ausreichendem Strukturangebot in der Ration sicherzustellen.

3 Gesundheitsrisiken und Milchleistung

Auch wenn für das Einzeltier keine exakte Vorhersage, ob es bei einer bestimmten Leistung erkranken wird oder nicht, möglich ist, so lassen sich aus epidemiologischen Untersuchungen doch zumindest Risiken für Gesundheitsstörungen im Bezug auf die Höhe der Milchleistung beschreiben. Hierfür im Folgenden einige Beispiele.

In einer Untersuchung von fast 1.100 Milchbetrieben in Norddeutschland fand Lotthammer (1992) einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Labmagenverlagerungen

im Bestand und den jeweiligen Jahresdurchschnittsleistungen der Betriebe (Abbildung 2). Darüber hinaus wiesen Betriebe, in denen Labmagenverlagerungen vorkamen, gegenüber solchen Betrieben, bei denen dies nicht der Fall war, gehäuftes Vorkommen von Ketosen (+14 %), von Klauen- und Fertilitätsproblemen (je +10 %) sowie von Euterentzündungen (+6 %) auf. Vergleichbare Ergebnisse werden auch in den Studien von Erb und Gröhn (1988) sowie Cameron et al. (1998) aufgezeigt.

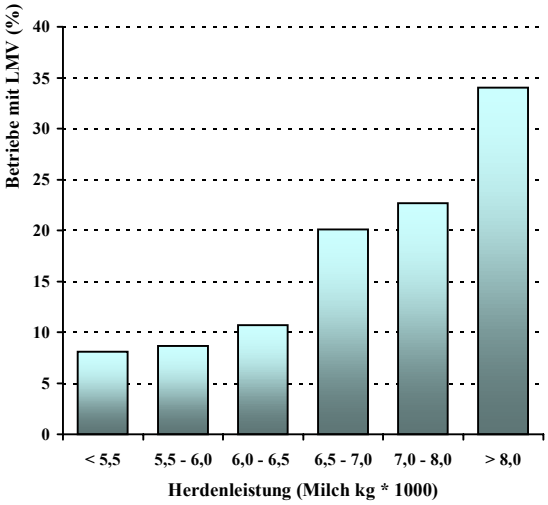


Abbildung 2
Prozentualer Anteil der Milchbetriebe mit Vorkommen von Labmagenverlagerungen in Relation zum Jahresbetriebsdurchschnitt der Milchleistung (nach Lotthammer, 1992).

Die Mehrzahl der Kühe mit einer Labmagenverlagerung leidet bereits vor Auftreten einer solchen an Ketonämie und Leberverfettung (Geishauser, 1995). Verstärkt werden die bestehende Ketonämie und auch die Leberverfettungen zusätzlich durch die Appetitsdepression, die mit der Labmagenverlagerung einhergeht, und die Tiere in eine extreme negative Energiebilanz führt (Rehage et al., 1995). So findet sich bei nahezu zwei Drittel der betroffenen Kühe eine mittel- oder hochgradige Leberverfettung im Bioptat. Die Einlagerung von Fett in die Leberzellen stellt einen gesicherten Risikofaktor für Leberfunktionsstörungen dar (Rehage et al., 1992). So ist das relative Risiko einer Kuh mit hochgradiger Leberverfettung an einer manifesten Leberinsuffizienz zu erkranken etwa 5,5fach höher, als das einer Kuh mit einer nicht verfetteten Leber (Tabelle 1). Etwa ein Drittel der Kühe mit Leberinsuffizienz verendet trotz intensiver Therapie hieran (Rehage et al., 2001).

Tabelle 1
Relatives Risiko für die Entwicklung einer klinisch manifesten Leberinsuffizienz bei Kühen in Abhängigkeit vom Lebertriglyceridgehalt (nach Rehage et al., 2001)

Lebertriglyceridgehalt (mg/g FG)	Relatives Risiko	95 % Konfidenzinterval	
< 35	1		
35 - 65	1,8	0,5 - 6,1	n.s.
66 - 100	3,7	11,1 - 12,4	P < 0,05
> 100	5,5	1,6 - 17,5	P < 0,01

Fleischer et al. (2001) werteten insgesamt 2.197 Laktationen von 1.074 HF-Kühen aus 10 niedersächsischen Betrieben aus. Die Bestände standen in einem regelmäßigen Herdenbetreuungsprogramm der Tierärztlichen Hochschule Hannover. Nach den Ergebnissen dieser Studie stieg in der dritten Laktation die Wahrscheinlichkeit einer Kuh mit einer 305-Tage-Milchleistung von 12.000 kg gegenüber einer Kuh mit 6.000 kg an einer Euterentzündung zu erkranken von fast 18 auf über 44 %, also um das 2,5-fache (Tabelle 2), die Wahrscheinlichkeit Ovarzysten zu entwickeln stieg von 9 auf fast 28 % (3,1-fach höher). Nachgeburtsverhaltungen wurden bei den höher leistenden Tieren gegenüber den Tieren mit geringer Leistung 2,7-fach, Klauenerkrankungen 2-fach und Milchfieber 3,3-fach häufiger angetroffen (Tabelle 2). Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Mastitis erhöhte sich bei einem Anstieg der 305-Tage-Milchleistung um 228 kg um jeweils 1 %. Gleiches galt für Ovarzysten bei einer Milchleistungssteigerung um 323 kg oder für Klauenerkrankungen um 375 kg. Die Studie zeigt eindeutig einen Zusammenhang zwischen Milchleistung und dem Auftreten der typischen peripartalen Erkrankungen der Milchkühe auf. Vergleichbare Zusammenhänge zwischen Milchleistung und Erkrankungsraten wurden auch von anderen Autoren z. B. für Nachgeburtsverhaltungen (Gröhn et al., 1990), Mastitis (Bigras-Poulin ,et al., 1990b; Gröhn et al., 1995; Rajala und Gröhn, 1998), Ovarzysten (Bigras-Poulin et al., 1990a; Gröhn et al., 1990, 1994; Heuer et al., 1999), Lahmheiten (Uribe et al., 1995; Pryce et al., 1998; Heuer et al., 1999) sowie Milchfieber (Erb und Gröhn, 1988; Bigras-Poulin et al., 1990b, Heuer et al., 1999) berichtet. Heuer et al. (1999) ermittelten in ihrer epidemiologischen Studie ferner, dass die Wahrscheinlich einer vorzeitigen Verwertung einer Milchkuh mit der Milchleistung positiv korreliert.

Tabelle 2
Geschätzte Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener Erkrankungen in der 3. Laktation in Abhängigkeit von der 305-Tage-Milchleistung (nach Fleischer et al., 2001)

	Einfluß der 305-Tage Milchleistung			
Erkrankung	$EPA^{6.000kg}$ (%)	$EPA^{12.000kg}$ (%)	Verhältnis $EPA^{6.000kg}$ / $EPA^{12.000kg}$	kg Milch pro 1% Anstieg in EPA
Nachgeburtsverhaltung	6,4	17,0	2,7	570
Ovarzysten	9,0	27,5	3,1	323
Mastitis	17,9	44,2	2,5	228
Klauenerkrankungen	16,2	32,2	2,0	375
Milchfieber	4,0	13,2	3,3	650

EPA: estimated probability of appearence

4 Schlussfolgerungen

Unsere Kenntnisse über die Physiologie des Verdauungstraktes und die Biochemie des Stoffwechsels unserer Milchkühe, insbesondere in der „Transition period“, lassen es derzeit nicht zu, eine exakte Milchleistungsobergrenze zu definieren, deren Überschreitung eine Erkrankung des Tieres zur Folge hätte. Die interindividuelle Varianz der Kühe in der Fähigkeit sich unterschiedlichen Leistungsanforderungen anzupassen, ist erheblich. Bereits heute zeigen viele Kühe mit Jahresdurchschnittsleistungen von weit über 10.000 kg, dass sie dieser Leistung bei stabiler Gesundheit gewachsen sind. Andererseits lassen zahlreiche epidemiologische Studien Zusammenhänge zwischen Leistung und Krankheitsrisiko erkennen. Genetisch determinierte Veranlagung ist sicherlich einer der Gründe für die hierzu beschriebenen Korrelationen, allerdings sind die Heritabilitäten der typischen peripartalen Erkrankungen in der Mehrzahl vergleichsweise gering und damit zweifelsfrei nicht alleinige Ursache für die beschriebenen Zusammenhänge zwischen Leistung und Krankheit (Uribe et al., 1995).

In diesem Zusammenhang darf nicht vergessen werden, dass hochleistende Milchkühe Anspruch auf hohe Leistung des Betriebsmanagements haben. Dieses muss sich den Bedürfnissen der Kühe anpassen und nicht umgekehrt. Ohne eine professionelle Herdenführung hinsichtlich ausgewogener Rationsgestaltung in der Trockenstehphase und der Frühlaktation unter Verwendung von Futterkomponenten bester Qualität, stressfreier und für die Kühe bequemer Haltungsbedingungen sowie eines organisierten und entschlossenen Gesundheitsmanagements, wird eine weitere Steigerung der Milchleistung ohne Gefährdung der Tiergesundheit nicht möglich sein (Drackley, 1999). In diesem Bereich erscheint derzeit bei vielen Betrieben noch Gestaltungsraum für weitere Leistungssteigerung (Jordan und Fourdraine, 1993).

Dennoch, bei Durchschnittsleistungen von über 10.000 kg Milch ist ein Leistungsniveau erreicht, das eine weitere ungezügelte und auf kurzfristige Erfolge abzielende Steigerung der Milchleistung nicht mehr zulässt. Neben Laktationsleistung müssen Faktoren wie Gesundheit und Langlebigkeit in der Zucht stärker als bisher berücksichtigt werden. Detaillierte Kenntnisse über den Gesundheitszustand der Milchviehpopulation sind hierzu erforderlich. Die bisherige Form der Aufzeichnungen über die Gründe einer Verwertung der einzelnen Kuh erscheint nicht nur nicht ausreichend, um sich ein Bild über den Gesundheitszustand der Population zu machen, sondern teilweise sogar irreführend. Die Resultate bisheriger epidemiologischer Studien lassen es vielmehr dringend geraten erscheinen, in den Milchbetrieben der einzelnen Zuchtverbände alle Krankheitsereignisse jedes einzelnen Tieres im Rahmen einer tierärztlichen Herdenbetreuung aufzuzeichnen. Die Behandlung der weit überwiegenden Mehrzahl peripartaler Erkrankungen muss aus arzneimittelrechtlichen Gründen ohnehin auf tierärztliche Anweisung erfolgen. Geeignete Dokumentationsbögen zur Einzeltiergesundheit sollten zur Vereinheitlichung durch die Zuchtverbände in Zusammenarbeit mit den in den Betrieben tätigen Tierärzten vorbereitet werden. Nur hierdurch lassen sich Erkenntnisse über die Stabilität der Gesundheit in der Population gewinnen und zu berücksichtigende unerwünschte Entwicklungen bei weiterer Leistungssteigerung rechtzeitig erkennen. Nur bei enger Zusammenarbeit zwischen Tierzucht, Tierernährung und Tiermedizin scheint eine weitere behutsame Steigerung der Milchleistung möglich, ohne dass der Gesundheitsstatus der Population und damit die Qualität der produzierten Lebensmittel gefährdet wird.

Literatur

Bell AW (1995): Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. J. Anim. Sci. 73, 2804 - 2819

Bigras-Poulin AH Meek and Martin SW (1990a): Interrelationship of health problems and age on milk production in selected Ontario Holstein cows. Prev. Vet. Med. 8, 3-13

Bigras-Poulin AH Meek and Martin SW (1990b): Interrelationship of health problems and milk production from consecutive lactations in selected Ontario Holstein cows. Prev. Vet. Med. 8, 15-24

Breves G and Winckler C (1996): Chancen und Grenzen der Tierzucht aus physiologischer Sicht. Dtsch. Tieraerztl. Wochenschr. 103, 42-43

Cameron REB, Dyk PB, Herdt TH, Kaneene JB, Miller R, Bucholtz HF, Liesman J.S, Vandehaar MJ and Emery RS

(1998): Dry cow diet, management, and energy balance as risk factors for displaced abomasum in high producing dairy herds. J. Dairy Sci. 81, 132-139

Correa M T, Erb HN and Scarlett M (1993): Path analysis for seven postpartum disorders of Holstein cows. J. Dairy Sci. 76, 1305-1312

Curtis CR, Erb HN, Sniffen CJ, Smith RD and Kronfeld DS (1985): Path analysis of dry period nutrition, post partum metabolic and reproductive disorders, and mastitis in Holstein cows. J. Dairy Sci. 68, 2347-2360

Drackley J (1999): Biology of Dairy Cows During the Transition Period: the Final Frontier? J. Dairy Sci. 82, 2259-2273

Erb HN (1987): Interrelationships among production and clinical diseases in dairy cattle: A review. Can. Vet. J. 28, 326-329

Erb HN and Gröhn YT (1988): Epidemiology of metabolic disorders in the periparturient dairy cow. J. Dairy Sci. 71, 2557-2571

Fleischer P, Metzner M, Beyerbach M, Hoedemaker M and Klee W (2001): The Relationship between Milk Yield and the Incidence of Some Diseases in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 84, 2025-2035

Geishauser T (1995): Abomasal displacement in the bovine – a review on character, occurrence, aetiology and pathogenesis. J. Vet. Med. A 42, 229-251

Gerloff BJ, Herdt TH, Emery RS (1986): Relationship of hepatic lipidosis to health and performance in dairy cattle. J. Am. Vet. Med. Assoc. 188, 845-850

Gröhn YT, Erb HN, McCulloch CE and Saloniemi HS (1989): Epidemiology of metabolic disorders in dairy cattle: Association among host characteristics, disease and production. J. Dairy Sci. 72, 1876-1885

Gröhn YT, Erb HN, McCulloch CE and Saloniemi HS (1990): Epidemiology of reproductive disorders in dairy cattle: Association among host characteristics, disease and production. Prev. Vet. Med. 8, 25-39

Gröhn YT, Eicker SW and Harman JL (1994): Effect of early lactation milk yield on reproductive disorders in dairy cows. Am. J. Vet. Res. 55, 1521-1528

Gröhn YT, Eicker SW and Hertl JA (1995): The association between previous 305-day milk yield and disease in New York sate dairy cows. J. Dairy Sci. 78, 1693-1702

Grummer RR (1993): Etiology of lipid related metabolic disorders in periparturient dairy cows. J. Dairy Sci. 76, 3882-3896

Grunert E (1993): Der Einfluß der Hochleistung auf Gesundheit und Fruchtbarkeit des Rindes. Mh. Vet.-Med. 48, 239-245

Herdt T.H. (1991): Relationship of fat metabolism to health and performance in dairy cattle Bovine Practitioner 26, 92-95

Heuer CYH Schukken and Dobellar P (1999): Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield and culling in commercial dairy herds. J. Dairy Sci. 82, 295-304

Jordan ER and Fourdraine (1993): Characterization of the management practices of the top milk producing herds in the country. J. Dairy Sci. 76, 3247-3256

Kehrli Jr ME, Nonnecke BJ and Roth H (1989): Alterations in bovine neutrophil function during the periparturient period. Am. J. Vet. Res. 50, 207-214

Landwirtschaftskammer Hannover (2001): Leistungs- und Qualitätsprüfungen in der Tierischen Erzeugung 2000, Landwirtschaftskammer Hannover

Lotthammer KH (1992): Epidemiologische Untersuchungen über das Vorkommen von Labmagenverlagerungen (dislocatio abomasi) in Milchrinderbeständen. Tierärztl. Umsch. 47, 320-328

Nocek JE (1997): Bovine acidosis: implications on laminitis. J. Dairy Sci. 80,1005-1028

OHG (2002): Milchleistungen in Deutschland 2001. Die Osnabrücker Schwarzbuntzucht 76, 24-26

Pryce JE,. Esslemont RJ, Thompson R, Veerkamp RF, Kossaibati MA and Simm G (1998): Estimation of genetic parameters using health, fertility, and production data from a management recording system for dairy cattle. J. Anim. Sci. 66, 577-584

Rajala PJ and Gröhn YT (1998): Disease occurrence and risk factor analysis in Finnish Ayrshire cows. Acta Vet. Scand. 39, 1-13

Rehage J, Stockhofe-Zurwieden N, Mertens M, Meier C, Kehler W and Scholz H (1992): Histological and enzyme-histochemical investigations in liver biopsies of cows suffering from left sided displacement of the abomasum. Proc. VIII. Int. Conf. Production Diseases in Farm Animals, Bern, Schweiz, 205

Rehage J, Mertens M, Stockhofe-Zurwieden N, Kaske M and Scholz H (1995): Post surgical convalescence of dairy cows with left abomasal displacement in relation to fatty liver. Schw. Arch. Tierheilk. 138, 361-368

Rehage J, Meier C, Kaske M and Scholz H (2001): Changes in the Amino Acid Ratio and Ammonia Concentration in Plasma and Cerebrospinal Fluid of Dairy Cows suffering from Hepatosteatosis and Liver Failure. J. Dairy Sci. 84 Suppl.1, 152

Robb EJ, Johnstone C, Barton C, Manson R, Gardner W and Stolzfus R (1986): Epidemiologic study of risk factors for abomasal displacement – a case control study. J. Dairy Sci. 69, Suppl. 1, 105

Ropstadt E, Larsen HJ and Refsdal AO (1989): Immune function in dairy cows related to energy balance and metabolic status in early lactation. Acta Vet. Scand. 30, 209-219

Uribe HA, Kennedy BW, Martin SW and Kelton DF (1995): Genetic parameters for common health disorders of Holstein cows. J. Dairy Sci. 78, 421-430

Zerbe H, Schneider N, Leibold W, Wensing T, Kruip TA and Schubert HJ. (2000): Altered functional and immunophenotypical properties of neutrophilic granulocytes in postpartum cows associated with fatty liver. Theriogenology 54, 771-786

Wie werden Milchkühe 2025 gehalten und gemolken?

Claus Sommer und Franz-Josef Bockisch*

1 Einleitung

Die Milchviehhaltung ist der wichtigste Erwerbszweig der tierhaltenden landwirtschaftlichen Betriebe. Die ökonomischen Rahmenbedingungen in den nächsten 20 Jahren werden für eine wettbewerbsfähige Milchviehhaltung im Haupterwerb zu größeren Tierbeständen führen (Abbildung 1).

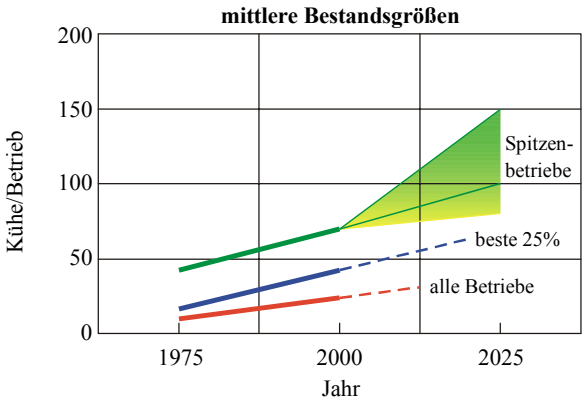


Abbildung 1
Mittlere Bestandsgröße, bisherige Entwicklung und Prognose

Wenn entsprechend der Einschätzung bis 2025 mittlere Bestandsgrößen in Spitzenbetrieben bis 150 Milchkühe erreichen, sind mit Sicherheit darunter auch Betriebe mit 1.000 Kühen. Auch die mittlere Milchleistung pro Kuh wird weiter steigen (Abbildung 2). Sie beträgt heute im Schnitt aller Betriebe 6.050 kg/Kuh. Dabei werden von Spitzenbetrieben bereits >10.000 kg/Kuh erreicht mit Steigerungen von 100 bis 150 kg/Kuh und Jahr in den letzten Jahren. Werden ähnliche Zuwächse bis 2025 unterstellt, sind Milchleistungen >15.000 kg Milch/Kuh und Jahr vorstellbar.

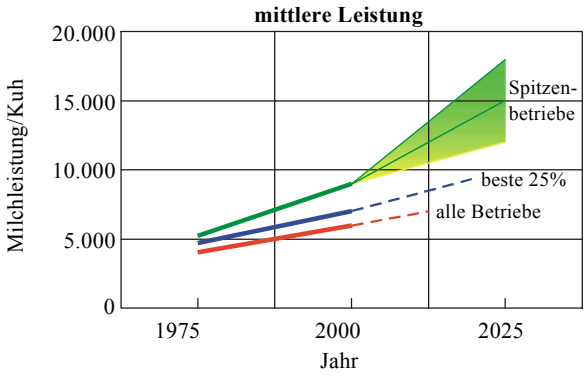


Abbildung 2
Mittlere Milchleistung, bisherige Entwicklung und Prognose

Wie schnell allerdings eine Vorhersage auf der Basis bisheriger Entwicklungen Brüche aufweisen könnte, werden u. a. folgende offenen Fragen aufzeigen:

- Bleibt die Quote?
- Wird der Sommerweidegang als artgerechte Haltungsform zur Pflicht?
- Werden weitere Krankheiten und Seuchen die Tierbestände heimsuchen?
- Wird die Klontechnik Eingang finden?

In jedem Fall werden zunehmende Bestandsgrößen, ansteigende Milchleistungen, die weiter zunehmende Komplexität des Prozesses „Milchproduktion“ und die weitgefächerten Ansprüche der Gesellschaft an das Produkt „Milch“ sowie Tier- und Umweltschutz Haltung und Melktechnik auch bis 2025 beeinflussen.

Die Verfahrenstechnik hat geeignete Techniken und Haltungsverfahren weiterzuentwickeln, wobei folgende Anforderungen (Wendl et al., 2000) im Vordergrund stehen werden:

- Senkung der Stückkosten
- Verbesserung der Tierhygiene
- Erhöhung der Produkt- und Prozessqualität
- Erfüllung steigender Anforderungen an Tier- und Umweltschutz
- Verbesserung der Arbeitsbedingungen für den Landwirt.

* Prof. Dr.-Ing. Claus Sommer und Prof. Dr. Franz-Josef Bockisch, Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. agr. R. Artmann, Dipl.-Ing. Architekt J. Gartung, Dr. agr. H. Georg, Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. J.-G. Krentler, Prof. Dr. D. Ordolff, Dr.-Ing. H. Sonnenberg, Dipl.-Ing. agr. K. Walter.

Diese Leitlinien bestimmen die Forschung im Institut für Betriebstechnik und Bauforschung. Einige Beispiele und Visionen zum Thema „*Wie werden Milchkühe 2025 gehalten und gemolken?*“ sind Gegenstand der folgenden Kapitel.

2 Beispiele mit Visionen

2.1 Steigerung der Grundfutterqualität (K. Walter)

Die Datenerhebung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (Rinder-Report) und eigene Erhebungen (Walter et al., 1998) zeigen, dass die je Kuh eingesetzten Kraftfuttermengen in den letzten 25 Jahren nicht wesentlich gestiegen sind. Die Betriebe erzielten eine Leistungssteigerung von 50-150 kg Milch/Kuh und Jahr, das entspricht jährlichen Zuwachsraten von 1 bis 3 %.

Da sowohl die Qualität als auch die je Kuh verbrauchten Mengen an Kraftfutter sich nicht entscheidend verändert haben, kann davon ausgegangen werden, dass der Leistungszuwachs von 1.500 bis 3.500 kg Milch in den letzten beiden Jahrzehnten vorrangig mit Grundfutter erzielt worden ist.

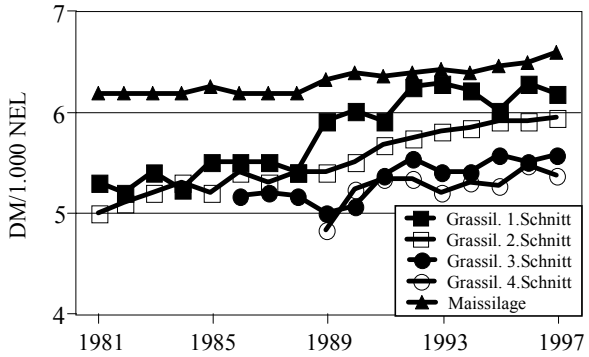


Abbildung 3
Entwicklung der Energiekonzentration von Mais- und Grassilagen, Durchschnitt von 70 norddeutschen Betrieben (Walter et al., 1998)

Der Grundfuttereinsatz dagegen hat sich grundlegend umstrukturiert. In den analysierten norddeutschen Betrieben haben selbsterzeugte Futtermittel mit geringem Energiegehalt wie Zwischenfrüchte, Zuckerrübenblattsilage, Heu und Stroh ihre Bedeutung verloren. Nicht zuletzt wegen ihrer hohen Energie- und Nährstoffkonzentration dominieren Frischgras, Gras- und Maissilage. Aber auch diese Futtermittel haben sich in den letzten 25 Jahren verändert.

Fortschritte bei der Bewirtschaftung des Grünlandes, wie eine geringere aber dafür optimal angepasste Düngung und ein auf die Erzeugung von hohen Grundfutterqualitäten ausgerichtetes Management, hatten zur Folge, dass Frischgras und Grassilagen besser an die Ansprüche der Hochleistungskühe angepasst werden konnten. Der NEL-Gehalt der Grassilagen (Mittel der ersten Schnitte) ist von 5,5 auf 6,3 MJ NEL je kg Trockensubstanz gestiegen (Abbildung 2).

Beim Silomais sind ähnliche Tendenzen festzustellen, da auch bei dieser Futterpflanze der Düngereinsatz reduziert werden konnte. Durch Anbau leistungsfähigerer Sorten, Optimierung von Düngermenge und Ausbringungszeiten, Verbesserungen bei Saat, Pflege und Ernte konnte die Energiekonzentration der Maissilage von 6,2 auf 6,6 MJ NEL gesteigert werden (Walter et al, 1998).

Idee und Grundlage der Vision

Sollte sich diese Entwicklung fortsetzen lassen, könnten Gras- und Maissilagen mit mindestens 7 bis 7,5 MJ NEL erzielt werden. Derartig hohe Energiekonzentrationen bedeuten, dass das zukünftig produzierte Grundfutter die Nährstoffgehalte von Kraftfutter erreicht. Die heute mit Kraftfutter erzielten Leistungen könnten dann allein mit wirtschaftseigenem Grundfutter „erfüttert“ werden. Bei Verzicht auf Kraftfutter würden sich die herkömmlich wirtschaftenden Betriebe den ökologisch orientierten Betrieben annähern. Das Rind könnte wieder seinen ursprünglichen Platz als Veredler rohfaserhaltiger Pflanzen einnehmen, die für den menschlichen Konsum ungeeignet sind. Werden Rationen mit derart hohen Grundfutterqualitäten auch weiterhin durch Kraftfutter ergänzt, könnten Leistungen von 15.000 kg Milch pro Kuh erreicht werden.

Eine Milchviehhaltung ohne Kraftfutter kann auf die Technik zur Lagerung, Förderung und Zuteilung von Kraftfutter verzichten. Das würde den Investitionsbedarf und die laufenden Kosten spürbar mindern. Die bisher erforderlichen baulichen Voraussetzungen wie Kraftfutterlager, Fressbox etc. wären nicht (mehr) erforderlich. Einfachere bauliche Konzepte führen zu geringerem Investitionsvolumen.

Diesen Einsparungen stehen wahrscheinlich aufwändigere Techniken zur Grassilagebereitung, -lagerung und -vorlage gegenüber. Schon heute werden vereinzelt sowohl bei Gras- als auch Maissilagen „Traumwerte“ von 6,8 bis 7 MJ NEL/kg TS erreicht. Die deutlich abfallenden Qualitäten der späteren Grassilageschnitte mindern das Durchschnittsergebnis. Die Technik und das „Know-how“ sind weiter zu entwickeln, um derartige Qualitäten sicher erzielen zu können.

Dabei könnte insbesondere der Bestimmung des optimalen Erntezeitpunktes vor Ort und in „Echtzeit“ große Bedeutung bei der Lösung dieser Aufgabe zukommen (Paul et al., 2000). Derartige Möglichkeiten würden optimale Erntezeitpunkte und -dauer präzisieren. In Kombination mit einer adäquaten Technik für Ernte, Transport, Silierung und letztlich der Futtervorlage sind verlustarme Verfahren möglich. Derart auf den Verwendungszweck abgestimmte Verfahren sind heute schon bei der Ernte von Obst, Gemüse, Heilpflanzen usw. selbstverständlich. Mit der Eingrenzung der verfügbaren Erntezeit sind an die Schlagkraft deutlich höhere Anforderungen zu stellen als bisher.

Einschätzung der Vision

Um die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe nicht zu gefährden, dürfen die Kosten solcher Ernteverfahren nicht oder nur unwesentlich steigen. Das setzt voraus, dass derart hochentwickelte Verfahren zur Grundfutterernte mehr als bisher von Spezialisten gestützt und auf überbetrieblicher Ebene organisiert werden müssen, wie etwa bei der Zuckerrübenernte.

Die Konzepte zur Schnellanalyse sollten bis zur „Praxisreife“ weiterentwickelt werden. Das Ernteverfahren ist stärker als bisher auf die Erzeugung höchster Qualitäten auszurichten. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob Zusätze zur Silage die Verluste mindern, die Qualität steigern und die Haltbarkeit sichern können.

2.2 *Tierhaltung auf Einstreu* (H. Sonnenberg)

Ob die Ställe der nächsten Generation für die Jung- und Milchviehhaltung mit Einstreu betrieben werden, hängt nicht nur von der Beantwortung der Frage ab, ob und in welcher Art das Tier Einstreu benötigt, sondern stärker vom politischen Willen und den Anforderungen seitens der Verbraucher. Eine zusätzliche Frage ist, bei welchen Haltungsverfahren die Umwelt so wenig wie möglich belastet wird.

Da Tierschutz die Haltungsform auf Einstreu präferieren könnte und die Rückführung des „guten alten Festmistes“ in den Boden dessen nachhaltige Fruchtbarkeit fördert, werden derzeit Anstrengungen unternommen, die gesamte Stroh-Festmist-Kette hinsichtlich Funktionalität und Effektivität zu verbessern (Sonnenberg et al., 2000). Schließlich beeinträchtigen gegenüber der Güllewirtschaft die Kosten für Beschaffung, Lagerung und Handhabung von Stroh sowie ein damit verbundener Anteil an Handarbeit die Wirtschaftlichkeit des Systems „Einstreu“. Auch sind Staubemissionen beim Einstreuen als Belastung zu sehen.

Idee und Grundlage der Vision

Einstreu-Bereitstellung:

Die *Ernte* erfolgt durch Mähdrescher, die zunehmend mit Dresch-Schüttler-Systemen (Tangentialdreschwerk) ausgerüstet sind, welche das Stroh stärker beanspruchen. Zur *Bergung* des Strohs werden überwiegend Quaderballen-Pressen eingesetzt. Die *Lagerung* erfolgt in Stallnähe, auch außerhalb des Stalles unter einer Plane oder Überdachung.

Zur Einstreu-Vorlage finden einfache, selbstfahrende, kleinbauende und damit stallgerechte Ballen-Auflösegeräte ohne besonderen Zerkleinerungsmechanismus Verwendung, da das Stroh gegebenenfalls bereits von einem mit Tangentialdreschwerk ausgerüsteten Mähdrescher genügend zerkleinert oder von dem Schneidwerk der Ballenpresse klein geschnitten wurde.

Um Staubemissionen zu verringern, erfolgt der Auswurf mit einem möglichst langsam laufenden Wurfband oder Wurfrad, erforderlichenfalls mit zusätzlicher Sprüheinrichtung für Wasser, dem auch ein Mittel zur Neutralisation von Pilzsporen beigegeben sein kann. Alternativ könnte die Zerkleinerung auch außerhalb des Stalles in einem geschlossenen Raum mit Staubabscheidung stattfinden und der Transport zu den Boxen per fest installiertem Rohrkettenförderer, geschlossenem Förderband oder Schnecke erfolgen.

Stallsystem:

Bevorzugt werden Außenklima- bzw. Offenfrontställe, zugluftgeschützt und ausreichend belichtet, mit gut isoliertem Liegebereich. Es sind vorrangig Liegeboxenlaufställe mit Festmist, Stroh-Einstreu um 3 kg/ (GV•d), oder mit Flüssigmist und synthetischen Matten oder Stroheinstreu von <1 kg/(GV•d). Des Weiteren können auch Tretmistställe (Schrägboden-Ställe) mit Stroheinstreu um 3 kg/(GV•d) und immer noch Tiefmistställe mit Stroheinstreu, Strohbedarf (statt früher 5 bis 12) um 3,5 kg/(GV•d) in Betracht kommen.

Ökologie und *Ethologie* gewinnen an Bedeutung. Die Kuh ist ein Herdentier; deshalb bietet sich die Gemeinschaftshaltung im Laufstall an, die soziale Kontakte und Gruppenbildung ermöglicht. Die Haltung auf Stroh wird als tiergerecht anerkannt. Der entstehende Festmist fördert die Bodenfruchtbarkeit und schließt den Naturkreislauf.

Die *Wirtschaftlichkeit* eingestreuter Systeme nähert sich der von Gülle-Systemen. Fallen die

Betriebskosten höher aus, so werden zunächst geringere Investitionskosten benötigt.

Mit eigenen Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass sich in modernen Mehrflächen-Ställen auch der Strohbedarf zum Einstreuen verringern lässt. Abbildung 4 zeigt die erforderlichen Einstreumengen unterschiedlich aufbereiteten Weizenstrohs für Jungrinder in einem Zweiflächen-Tiefmiststall.

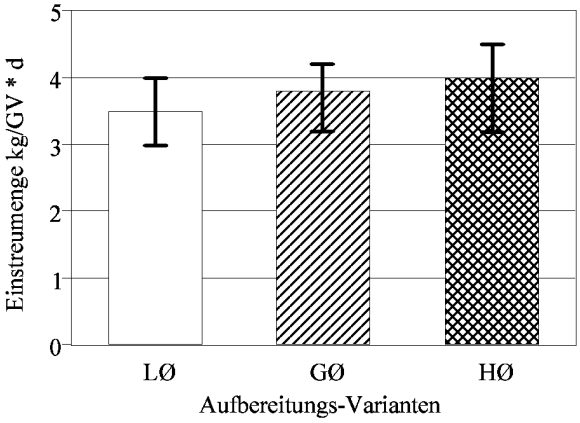


Abbildung 4
Durchschnittliche Stroheinstreubedarfe für Jungrinder in einem Zweiflächen-Tiefmiststall aus fünf Versuchsjahren der Aufbereitungsvarianten (Sonnenberg, 2002), (**Lø** = Langstroh aus Rundballen; **Gø** = Stroh aus Ballenpressen mit Schneidwerk; **Hø** = mit Häckslern bzw. Einstreugeräten aufbereitetes Stroh)

Untermauert wird die Vision auch durch die Absatzentwicklung von Mähdreschern mit Tangential- bzw. Hybriddreschwerk. Nach Einsätzen in Deutschland mit Beginn der 90er Jahre könnten sie heute bereits über einen Anteil von 30 bis 40 % verfügen. Sie beanspruchen das Stroh so stark, dass es ggf. für Einstreuzwecke keiner weiteren Zerkleinerung bedarf.

Ähnlich wie seit den 70er Jahren die Rundballen-Pressen die Hochdruckballen-Pressen verdrängen, beginnen mit den 90er Jahren die Quaderballen- oder Großpacken-Pressen mehr und mehr die Arbeit der Rundballen-Pressen zu übernehmen. Heute dürften sich in Deutschland neben rund 1.600 Rundballen-Pressen bereits etwa 500 Quaderballen-Pressen im Einsatz befinden. Da letztere mit Durchsätzen von 30 bis 35 t/h gegenüber Rundballen-Pressen mit 15 bis 20 t/h ungefähr die zweifache Leistung erbringen, könnte ihr Anteil an der Gesamt-Bergeleistung schon mit bis zu einem Drittel eingeschätzt werden. Mit ihren – vornehmlich für die Silage-Bereitung nutzbaren – Schneidsystemen ist ebenfalls eine den Einstreuzwecken dienliche Zerkleinerung auf sehr einfache und wirtschaftliche Weise gegeben.

Die tendenzielle Entwicklung der Stallformen für die Milchviehhaltung weist aus ökologischen und ökonomischen Gründen schon heute auf Laufställe mit Liegeboxen hin, die bei gegebener Tiergerechtheit immer weniger Einstreu benötigen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich dieser Trend fortsetzt.

Einschätzung der Vision

Zunehmendes ökologisches und Gesundheitsbewusstsein der Bevölkerung haben zu einem Umdenken in der Agrarpolitik geführt (BMVEL, 2001). Die Art und Weise der Produktion von (Bio-) Nahrungsmitteln hat gegenüber dem Preis an Bedeutung gewonnen.

Mit Stroh eingestreute Haltungssysteme bieten sich als tiergerecht an. Sie werden vom Milchvieh bevorzugt. Stroh ist genügend verfügbar. Der damit verbundene Mehraufwand an Arbeit wird durch geringere Investitionskosten relativiert (Hilty et al., 2002). Der auf das Feld rückgeführte Festmist fördert die Bodenfruchtbarkeit und schließt den natürlichen, organischen Kreislauf.

Die fürr die Stroh-Festmist-Kette geeignete Technik befindet sich auf dem Wege der Anpassung. Der Trend zu entsprechenden Mehrflächen-Stallsyste-men (Liegeboxenlaufstall) mit eingestreutem Liegebereich zeichnet sich bereits ab.

2.3 *Umweltsichere Güllelagerung* (J.-G. Krentler)

Auch in 2025 wird es Tierhaltung auf „Güllebasis“ geben. Weltweit gibt es viele Gesetze und Regelungen die Lagerung von Gülle, Mist und Silage betreffend. Fragen nach der technischen Sicherheit dieser Behälter entstanden in den späten 70er Jahren nach einigen wenigen, aber schweren Unfällen mit Güllebehältern aus Stahlbeton. Diese hatten zur Folge, dass sich die Genehmigungsverfahren zum Bau der Behälter sehr lang hinziehen, schwierig sind und oft von sehr vielen Fachbehörden begleitet werden, deren spezielle Forderungen als Auflage in die Baugenehmigung aufgenommen werden können.

Die mit Abstand wichtigste Frage der Genehmigungsbehörden heute ist, ob die Behälter „dicht“ im Sinne des Gesetzes sowie „sicher“ in bautechnischer Hinsicht sind. Hierfür fehlte bisher der Nachweis.

Idee und Grundlage der Vision

Es wäre dringend erforderlich und wird international angestrebt, das Regelwerk zum Bau von Güllelagern, Festmist- und Silageanlagen zu vereinheitlichen. Diese „Vision“ gewinnt an Bedeutung durch das Hinzutreten neuer EU-Mitgliedsländer. Hierzu ist auf der Grundlage geeigneter Versuche ein Wissensfortschritt über das Verhalten von Beton beim Angriff durch Gülle zu erreichen. Es wird erwartet, dass damit die Genehmigungsverfahren ganz erheblich verkürzt werden können sowie Baukosten einzusparen sind. Das gilt für alle Produktionsrichtungen unabhängig vom Gülle- bzw. Entmistungssystem.

In einer Versuchsreihe wurden Einpressversuche mit Gülle bzw. Wasser bei konstantem Druck in Betonprobekörper der Güteklasse B25 und B35 unternommen (Abbildung 5).

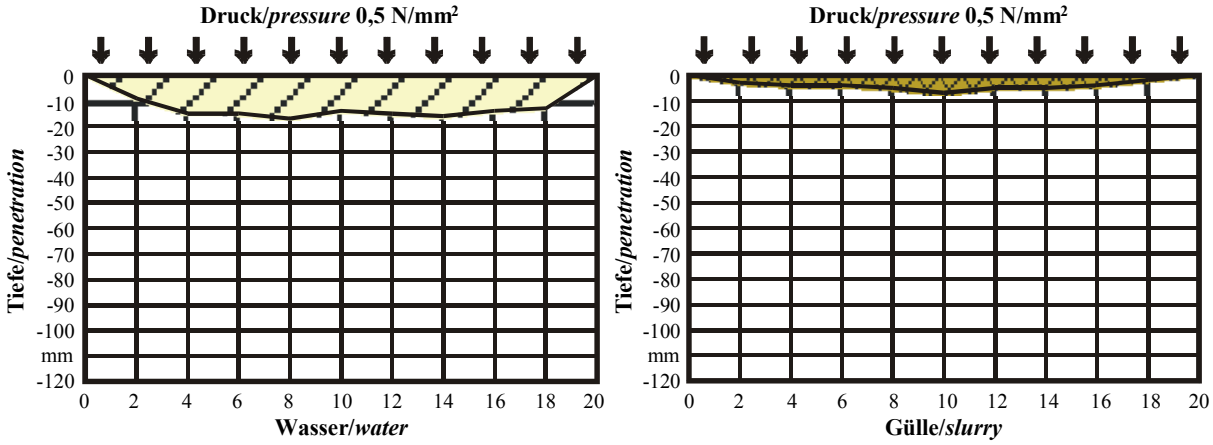


Abbildung 5
Untersuchungen zur Eindringtiefe von Wasser und Gülle in Beton unter Druck (Krentler, 1999)

Es zeigt sich, dass Wasser unter sonst gleichen Bedingungen im Mittel um den Faktor 2,4 tiefer eindringt, wobei die Eindringtiefe geringer als die Mindestüberdeckung der Bewehrung ausfiel. Damit ist bewiesen, dass nach den anerkannten Regeln hergestellte Betonbehälter „dicht“ im Sinne des Gesetzes sein können.

Einschätzung der Vision

Weltweit besteht die Befürchtung, dass die Landwirtschaft, besonders durch Tierproduktion, zu Umweltschäden beitragen kann. So können Probleme auftreten, wenn Gülle zum falschen Zeitpunkt und in übergroßer Menge ausgebracht wird. Daher ist der Bau von Güllelagern unverzichtbar. Unter den vier konkurrierenden Materialien zum Bau von Güllelagern liegt in Deutschland der Beton vorn.

Wenn es gelingt, den oben verkürzt skizzierten Beleg zur „Dichtheit“ wie auch zur Dauerstandfestigkeit der Betonbehälter den Genehmigungsbehörden klar zu machen, dürfte sich der Bau neuer, moderner Güllelager einschließlich der zur Handhabung erforderlichen Technik beschleunigen. Bautechnisch sind die Probleme nämlich gelöst, und es besteht von daher keine Veranlassung zu den üblichen langen Genehmigungsverfahren.

2.4 *Weidehaltung* (H. Georg)

Milchkühe werden in Deutschland in immer größerer Zahl ganzjährig im Stall gehalten. Die Gründe sind vor allem in der Arbeitswirtschaft (große Herden) und der Fütterung (höhere Effizienz) zu suchen. Die ganzjährige Stallhaltung kann aber in vielen Fällen dazu führen, dass verstärkt Probleme mit der Gesundheit der Tiere auftreten. Die Abgangsursachen für Milchkühe zeigen als Indikatoren verschiedene Problembereiche auf, die zum Teil auch auf die Haltungsbedingungen in den Ställen zurückzuführen sind, wie am Beispiel Klauenleiden zu sehen ist. Die Abgänge wegen Klauen- und Gliedmaßenerkrankungen, erfasst durch die ADR (2002), stehen inzwischen an dritter Stelle nach Fruchtbarkeitsproblemen und Eutergesundheit.

Auch Stalleinrichter und Stallbaufirmen haben erkannt, dass auf lange Sicht nur Stallkonzepte Erfolg haben, die sich an den optimalen Bedingungen der Weidehaltung von Kühen orientieren. Nicht zuletzt daher werden Produkte wie Liege-

matten für Kühe als „pasture mat“ (= Weidematratze) bezeichnet. Bezogen auf die Klauengesundheit der Tiere bildet die Beschaffenheit der Oberfläche eine wichtige Rolle, wenn auch zur Zeit eher im negativen Sinne.

Idee und Grundlage der Vision

Die zunehmende Zahl an Kühen in Laufställen hat zwar größere Freiheiten für Mensch und Tier gebracht, die Klauengesundheit allerdings hat sich in gleichem Maß verschlechtert. Die Klauen sind häufig in Kontakt mit feuchten und unsauberen Laufflächen, was zu einer Erhöhung des Wassergehaltes und zu einer Abnahme der Abriebfestigkeit des Klauenhorns führt und eine hohe Keimbelastung an den Klauen hervorrufen kann. Folge ist eine schlechtere Widerstandsfähigkeit der Klauen. Deshalb wurden Möglichkeiten verschiedener Bodengestaltungen im Fressbereich von Milchkühen untersucht, mit denen die Eigenschaften des Klauenhorns positiv beeinflusst werden können (Georg et al., 2001). Wassergehalt und Härte des Klauenhorns am Tier zeigten, dass die veränderte Haltungsumgebung auch trockenere und härtere Klauen bewirken kann (Abbildung 6).

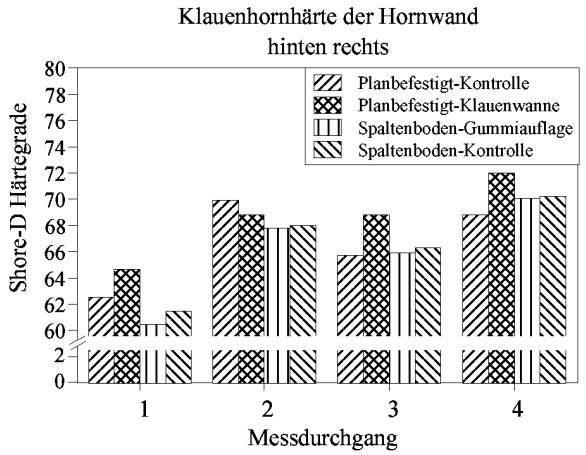


Abbildung 6
Einfluss verschiedener Laufflächen im Fressbereich auf die Klauenhärte von Milchkühen (Georg et al., 2001): Optimierte Böden sind härter und widerstandsfähiger

Werden Bedingungen auf der Weide als die ideale Laufgangoberfläche für Milchkühe angesehen, die es nachzubilden gilt, stellt sich die Frage, ob es nicht sinnvoller ist, die Tiere so oft und so lange wie möglich auf der Weide zu halten, anstatt mit ernormen Aufwand zu versuchen, im Stall weideähnliche Bedingungen zu schaffen. Weidehaltung von Kühen ist keineswegs ein Schritt zurück, sondern führt zu besserer Klauengesundheit sowie verbesserter Fruchtbarkeit. Bei Nutzung aller technischen Möglichkeiten sind AMV als Weidemelksystem, Tieridentifikation für ein intelligentes Weidemanagement etc. keine Utopie.

Einschätzung der Vision

Aus Sicht der Fütterung wurde Sommerweidehaltung bislang eher kritisch betrachtet, da man die Futteraufnahme auf der Weide schlecht kontrollieren kann und Leistungseinbrüche befürchtet. Milchviehbetriebe mit hohen Leistungen neigen aus diesem Grund eher zu einer ganzjährigen Stallhaltung (Weiß et al., 1999). Mit innovativem Weidemanagement können aber auch vom Grünland höhere Grundfutterleistungen erzielt werden (Isselstein und Müller, 2002) mit dem Vorteil, dass diese Haltung den natürlichen Bedürfnissen der Tiere (Grasen und Verhalten) sehr entgegenkommt. Wenn Konzepte für die Milchviehhaltung entwickelt werden, die Weidewirtschaft als festen Bestandteil integrieren und zusammen mit baulichtechnischen Lösungen, auch für AMV, und spezieller Fütterungsberatung neue Wege versuchen, sprechen gute Argumente für die Weidehaltung.

2.5 *Der Melkroboter* (D. Ordolff)

In Verbindung mit dem Einsatz von automatischen Melkverfahren (AMV) ist es erforderlich, die von der Milchverordnung vorgesehene visuelle Bewertung der Vorgemelke zur Aussonderung sinnfällig veränderter, nicht verkehrsfähiger Milch durch technische Maßnahmen mindestens gleicher Effizienz zu ersetzen. Zu diesem Zwecke wird in der Regel die Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Milch vorgeschlagen.

Barth und Graupner (1999) verweisen darauf, dass die sichersten Informationen von Zisternenmilch geliefert werden können, die vor dem Eintritt einer Milchejektion gewonnen wurde. Ansonsten empfehlen sie, die höchsten im Verlaufe eines Gemelks gefundenen Werte zwischen Vierteln miteinander in Beziehung zu setzen und zur Beurteilung der Eutergesundheit zu verwenden. Diese Forderungen sind in automatischen Melkverfahren zur Zeit nicht ohne weiteres erfüllbar. Neben der elektrischen Leitfähigkeit werden zur Bewertung der Eutergesundheit auch Milchtemperatur und Nah-Infrarot-Spektroskopie diskutiert (Ordolff, 2002).

Idee und Grundlage der Vision

Ein optisches Messverfahren, welches im sichtbaren Bereich arbeitet, ist das CIE-LAB-Farbmesssystem (DIN 6174). Dabei wird die Helligkeit in einer dimensionslosen Zahl zwischen 0 und 100 wiedergegeben. Die paarweise gekoppelten Farben rot-grün bzw. gelb-blau werden durch ebenfalls dimensionslose Zahlen beschrieben, deren absolute Größe die Abweichung vom neutralen Bereich, der durch den Wert „0“ gekennzeichnet ist, und deren Vorzeichen die den Farbstich jeweils bestimmende Farbe angibt.

Im Rahmen von Vorversuchen wurde zu zwei Terminen an Vorgemelken der Euterviertel von Kühen der Herde des Versuchsgutes Schädtbek der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel, zunächst die elektrische Leitfähigkeit gemessen (Ordolff, 2001). Anschließend wurden jeweils zwei Proben gezogen, von denen eine zur Bestimmung der Zellzahl und der Milchinhaltsstoffe diente. An der zweiten Probe wurden mit Hilfe eines Spektrometers (Spectropen, Dr. Lange GmbH, Düsseldorf) Helligkeit und die Farbparameter rot-grün, gelb-blau entsprechend dem CIE-LAB-Farbmesssystem bestimmt.

Zur Bewertung der Ergebnisse wurden die Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Zellzahlklassen, elektrischer Leitfähigkeit, den Farbparametern rot-grün und gelb-blau und den in zeitlichem Zusammenhang erhobenen bakteriologischen Befunden mit den genannten Parametern berechnet. Mit zunehmender Zellzahl wurden höhere Werte für die elektrische Leitfähigkeit, eine Verschiebung des Farbparameters rot-grün in Richtung rot sowie des Farbparameters gelb-blau in Richtung gelb gefunden. Die Verknüpfung der Messwerte aus den Farbmessungen und der elektrischen Leitfähigkeit ermöglichte die Erkennung aller Tiere, welche wenigstens in einem Euterviertel Milch mit erhöhter Zellzahl produzierten.

Absolute Messwerte der Farbparameter, auf einzelnen Messungen basierend, waren weder sensitiv noch spezifisch genug für eine effiziente Entdeckung von Mastitiden. Jedoch wurde mit zunehmenden Variationskoeffizienten der Zellzahlwerte eine deutlichere Interaktion mit anderen Parametern zur indirekten Beurteilung der Eutergesundheit festgestellt (Abbildung 7).

Die kuhindividuelle Überwachung der Veränderung der Farbparameter über die Laktation, vor allem in Kombination mit der Überwachung der elektrischen Leitfähigkeit der Milch, ist daher erfolgversprechend.

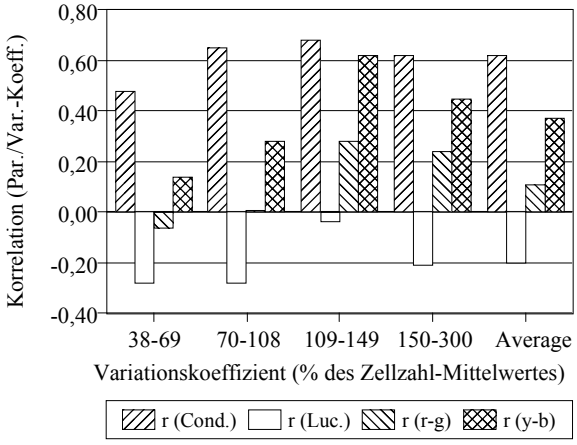


Abbildung 7
Zusammenhang zwischen der Variation der Zellzahl und den verschiedenen Parametern (Ordolff, 2001)

Einschätzung der Vision

Es ist damit zu rechnen, dass die Entwicklung entsprechend den Melkeigenschaften einzelner Euterviertel gesteuerter Melkzeuge im Bereich der automatischen Melksysteme auch auf konventionell betriebene Melkanlagen übertragen werden wird. Diese Technik lässt den Melkprozess sowohl zu Beginn (Stimulation, „Vormelken“) als auch an dessen Ende interaktiv gestalten. Dadurch ist eine vollständige Milchhergabe ohne unnötige mechanische (Vakuumhöhe, Blindmelken) und strömungstechnische (hoher Milchfluss, Sprayeffekte) Belastung des Euters zu erwarten.

In automatischen Melkverfahren ist mit der Entwicklung rasch arbeitender Vorrichtungen zur Handhabung der Melkzeuge („Ansetzautomaten“) zu rechnen, welche z. B. in Melkkarusselle integriert werden können. Dadurch wird der Einsatz vollautomatisierter Melkverfahren auch in Herdengrößen möglich, für die die AMV-Technik zur Zeit noch nicht geeignet ist.

In den Melkprozess eingebundene Systeme zur Bewertung und Sicherung der Milchqualität betreffen einerseits die Online-Milchanalyse entsprechend den Vorgaben der Milchleistungsprüfung, andererseits die von der Milchverordnung vorgeschriebene Prüfung der Verkehrsfähigkeit Milch einzelner Euterviertel in Verbindung mit automatischen Melkverfahren. Längerfristig ist auch hier der Einsatz in allen Melkverfahren zu erwarten. Zur Zeit wird die Eignung optischer Parameter im Nah-Infrarot-Bereich (Milchanalyse, Eutergesundheit) bzw. im sichtbaren Bereich (Eutergesundheit) untersucht. Bei weiterer Entwicklung der Sensortechnik sind auch andere Parameter als Indikatoren der Eutergesundheit denkbar.

Vorwiegend in Verbindung mit automatischen Melkverfahren ist mittelfristig mit bedarfs- und erfolgsorientiert arbeitenden Vorrichtungen zur Euterreinigung zu rechnen. Auch hier bieten sich optische Verfahren zur Bewertung der Eutersauberkeit an.

Auf Grund derzeitiger technischer Entwicklungen im Bereich Milchgewinnung und Lagerung ist zu erwarten, dass die Funktion sowohl „konventioneller“ als auch „automatischer“ Melkverfahren immer umfassender durch Sensoren gesteuert wird.

Dies wird zu tierindividuell ablaufenden schonenden Melkprozessen führen, unter dem Aspekt der Nachvollziehbarkeit von Prozessabläufen dokumentierbare Überwachung von Milchqualität und Tiergesundheit vor Ort ermöglichen und raschere Fehlererkennung und Energieeinsparung beim Betrieb der Melkanlage zur Folge haben.

Automatische Melkverfahren werden für Bestände von 50 bis 250 Milchkühen dominieren, in größeren Beständen werden Karusselle mit Handhabungssystemen zum Ansetzen genutzt.

2.6 Kosten für Tierarzt und Medikamente (K. Walter)

In den letzten 25 Jahren haben sich die Kosten für Tierarzt und Medikamente (KfTuM) mehr als verdoppelt. Sie betragen mittlerweile 3 bis 5 % der Gesamtkosten bzw. 6 bis 10 % der variablen Kosten (Walter, 1995). Ein weiterer Anstieg ist in Zukunft kaum noch zu verkraften, denn mit den Erzeugerpreisen für Milch sinken auch die Gewinne.

Die wichtigsten Gründe für den Anstieg der KfTuM ergeben sich aus

- der Gebührenordnung für Tierärzte und
- den steigenden Anforderungen an die Milch- und Fleischqualität.

Mit den aufgezeigten Bestimmungsgründen muss auch in Zukunft gerechnet werden, so dass die Ansatzpunkte zur Minderung dieser Kostenkomponente im Komplex „Futterbau und Rindviehhaltung“ zu suchen sind.

Idee und Grundlage der Vision

Abbildung 8 zeigt, dass zu Beginn der 80er Jahre die KfTuM ca. 100 DM je Kuh inkl. Nachzucht betrugen und in knapp 20 Jahren auf 200 DM angestiegen sind.

Die Betriebe (unteres Viertel, Abbildung 8 mit den geringsten KfTuM benötigten im gleichen Zeitraum nur 50 bis 100 DM. Die Betriebe mit den höchsten Kosten (oberes Viertel, Abbildung 8) wendeten zu Beginn des Erhebungszeitraumes 150 DM für die Gesunderhaltung auf, die Ausgaben stiegen jedoch auf über 300 DM bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes an. Es liegt im Interesse der Milchviehhalter und Verbraucher, die Gesunderhaltung der Tiere zu fördern und die Belastung der Nahrungsmittel möglichst auszuschließen.

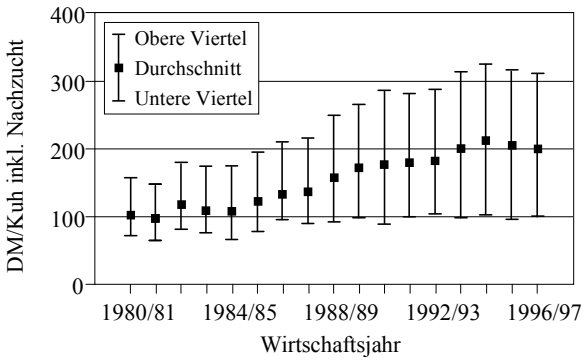


Abbildung 8
Entwicklung der Kosten für Tierarzt und Medikamente je Kuh inkl. Nachzucht (Walter, 1995, ergänzt)

Die Milchviehhaltung konzentrierte sich in den letzten Jahrzehnten immer mehr auf Laufstallhaltung, milchflussgesteuerte Melkverfahren, Fütterung von Frischgras mit Zufütterung von Maissilage im Sommer sowie Gras- und Maissilage im Winter, jeweils mit leistungsgerechter Kraftfutterversorgung. Daraus ergeben sich günstige Voraussetzungen, um Ursachen und Wirkungen zu untersuchen. Zur Spezifizierung der Ursachen sollten die großen Unterschiede der KfTuM in den Betrieben analysiert werden.

Erforderlich wäre darüber hinaus ein Vergleich des Managements der Betriebe. Die große Streuung der Kosten lässt sich nicht allein aus Verfahrensunterschieden erklären, sondern könnte auch auf unterschiedliche Strategien bei der Inanspruchnahme des Veterinärs, der Beurteilung des Gesundheitszustandes der Tiere etc. zurückzuführen sein.

Einschätzung der Vision

Die Verwendung von Sensoren, die Milch und Tier kontrollieren und überwachen, werden weiterentwickelt, die Vorsorge und Früherkennung von Problemen wirkungsvoll unterstützt und damit der Einsatz von Medikamenten minimiert.

Von einem umfassenden Informationssystem, welches das Gesundheitsgeschehen, die Ergebnisse aus Molkerei und Milchlabor sowie eine um Gesundheitsaspekte erweiterte Schlachtkörperbewertung integriert, wird für den Milchviehhalter wertvolle

Informationen liefern. Es könnten die eingesetzten Produktionsmittel und die Haltungsbedingungen während der Aufzucht bzw. Produktionsperiode mit der Qualität der jeweils erzeugten Milch- und Fleischprodukte in Beziehung gesetzt und bewertet werden.

Das Ausmaß und die Intensität von Behandlungen hängen in weiten Grenzen von der Einschätzung des Landwirts bzw. der gemeinsamen Bewertung des Halters und des Veterinärs ab. Die Aus- und Weiterbildung der Tierwirte und der Berater sollte intensiviert und gefördert, keinesfalls reduziert werden.

2.7 Precision Lifestock Farming (PLF)

2.7.1 Elektronische Tiererkennung (R. Artmann)

Der Einsatz rechnergestützter Verfahren in der Tierhaltung basiert zunächst auf der Einzeltieridentifizierung (etwa für Futterabrufautomaten) und wird derzeit zu einem PLF-System weiterentwickelt, das nicht nur die Steuerung bzw. Regelung von Prozessen im Stall, sondern auch Aufgaben der Tierüberwachung und des Herdenmanagements (Schön et al., 2001) übernehmen wird.

Für eine durchgehende Rationalisierung der Milchproduktion ist die automatische Erfassung der einem Tier zugeordneten Nummer erforderlich, damit Daten selbsttätig erfasst bzw. die Tiere individuell gefüttert, gemolken und behandelt werden können.

Eine automatisierte elektronische Tiererkennung ist die Grundvoraussetzung für den Einsatz rechnergestützter Systeme in der Milchviehhaltung (Artmann, 1992).

Derzeit sind für die offizielle Kennzeichnung von Rindern zwei identische, visuell lesbare Ohrmarken vorgeschrieben. Damit kann zwar in Verbindung mit der gesetzlich vorgeschriebenen Datenbank die Herkunft der Tiere und Fragen der Prämiengewährung sicher gestellt werden, visuelle Ohrmarken sind aber für die Prozesssteuerung ungeeignet. Seit Jahren werden für diesen Zweck am Halsband bzw. an einer Fußfessel befestigte Transponder eingesetzt. Sie sind nicht „unlösbar“ mit dem Tier verbunden und daher nicht für eine lebenslange Kennzeichnung von Tieren geeignet. Durch Miniaturisierung der Elektronik stehen heute elektronische Erkennungssysteme zur Verfügung, die als Ohrmarke extern befestigt, als Injektat injiziert oder als Bolus geschluckt und im Retikulum verbleibend genutzt werden können (Abbildung 9).

Idee und Grundlage der Vision

In der Vorschau auf 2025 ist davon auszugehen, dass zumindest alle Rinder mit weltweit standardisierten Transpondern gekennzeichnet werden und dass diese nicht nur dem Tier eine eindeutige Identität zuordnen, sondern auch Informationen über das Tier, die Besitzer, die Verbringungen, die Anwendung von Medikamenten etc., ja sogar Messwerte vom Tier selbst erfassen bzw. speichern lassen. Der Zugang zu den Informationen wird nach hierarchischen Prinzipien organisierbar sein. Ob auch eine Ortung des Standortes des Tieres innerhalb des Gebäudes möglich sein wird, ist durchaus im Bereich des Möglichen.

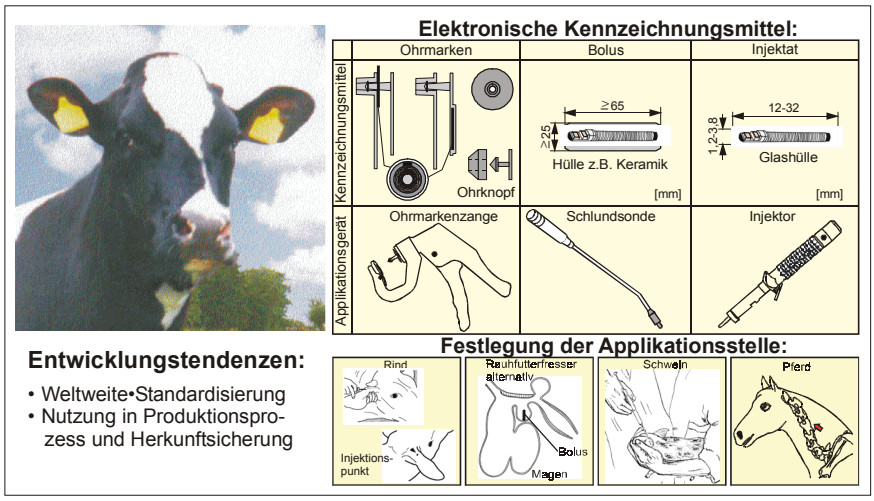


Abbildung 9:
Elektronische Kennzeichnungsmittel mit Hilfsmitteln zur Applizierung und empfohlener Applikationsstelle (Artmann, 1992)

Es ist zu erwarten, dass die EU-Behörden über die Anerkennung elektronischer Erkennungssysteme als offizielles Kennzeichnungsmittel für Tiere entscheiden werden. Entscheidungsgrundlage werden die Ergebnisse eines europaweit durchgeführten Feldversuches sein (Klindtworth et al., 1999).

Dabei wurden Erkennungssysteme getestet, die den internationalen Normen (ISO 11784 und 11785) entsprechen und eine weltweit unäre Tiernummer sowie die Kompatibilität der Systeme verschiedener Hersteller gewährleisten. Aufbauend auf schon vorhandenen Standards wird gegenwärtig ein weiterer Standard definiert (ISO 14223), mit dem Funktionen wie: Schreiben von Informationen in den Transponder, Lesen mehrerer an einer Abfragestelle befindliche Transponder (besonders wichtig bei Kleintieren), Integration von Sensoren zur automatischen Datenerfassung am Tier und Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit der Identität (Authentizität) und ggf. Zugriffsrechte für Informationsablage und -lesung festgelegt werden. Die jetzt eingeleiteten Entwicklungen decken den Bedarf für eine sichere Tiererkennung vollständig ab.

Dringend notwendig ist eine gesetzliche Regelung, die elektronische Erkennungssysteme als offizielles Kennzeichnungsmittel zulässt und eine Verbindung zur Tierdatenbank hergestellt wird. Nachweisführung, z. B. zum Medikamenteneinsatz, und Rückverfolgbarkeit würden so auf eine verbesserte Basis gestellt werden. Auch müsste endlich auf nationaler Ebene die Verwaltung der Tiernummern für elektronische Systeme geregelt werden.

Einschätzung der Vision

Obwohl die vorhandenen und gegenwärtig abzusehenden Entwicklungen eine gesicherte Erkennung der Tiere an allen erforderlichen Stellen erwarten lassen, gibt es einige Anforderungen, für die noch Entwicklungsarbeit zu leisten ist. So ist z. B. die Injektionsstelle tierartspezifisch weltweit einheitlich festzulegen. Ungelöst ist bisher eine automatische Erfassung des aktuellen Aufenthaltes z. B. einer Kuh im Stallbereich. Dies würde beim Einsatz von automatischen Melkverfahren Rationalisierungen bis hin zur individuellen Kuhzuführung ermöglichen. Es ist bekannt, dass manche Kühe freiwillig nicht genügend häufig das AMV besuchen. Heute müssen diese Kühe manuell gesucht und zum Melksystem getrieben werden.

Elektronische Erkennungssysteme, die so ausgelegt sind, dass sich auch der momentane Aufenthaltsort des Tieres bestimmen lässt, würden eine erhebliche Hilfe beim Suchen der Tiere bieten und ggf. den gesamten Tierverkehr einer tierverträglichen Automatisierung zugänglich machen. Daneben wäre eine automatisierte Aufenthaltsüberwachung auch für Fragen der Tierüberwachung (Aktivität) und für Verhaltensstudien (Wahlversuche etc.) sehr hilfreich.

2.7.2 Herdenmanagement (R. Artmann)

Bei knapper werdender Arbeitskapazität der Betriebe und steigenden Bestandsgrößen ist eine individuelle Ver- und Entsorgung sowie eine zufriedenstellende Tierüberwachung nicht oder nur eingeschränkt möglich. Die Folgen sind wirtschaftliche Verluste durch nicht leistungsgemäße Fütterung, nicht sachgemäßes Melken, verlängerte Zwischenkalbezeiten aufgrund nicht erkannter Brunstzeichen, vorzeitige Abgänge bis hin zu vermeidbaren Schmerzen der Tiere durch zu spät erkannte Erkrankungen. Zur Vermeidung solcher Folgen werden dringend Hilfsmittel benötigt, die rechtzeitig und zuverlässig Hinweise auf falsche Versorgung, problematische Milchqualität, anormale Zustände im Wohlbefinden oder auffallende Ereignisse im Fruchtbarkeitsgeschehen anzeigen. Diese sind erforderlich, je mehr sich der Zeitanteil mit direktem Tierkontakt durch Einsatz von automatischen Fütterungs- und Melksystemen verringert.

Idee und Grundlage der Vision

Die Elektronik bietet heute sowohl hard- als auch softwareseitig Hilfsmittel, die geeignet sind, den Mangel an Zeit zu kompensieren, wenn nicht sogar zu überkompensieren und daher das Herdenmanagement auf eine bisher nicht gekannte Qualität heben lassen.

Der Elektronikeinsatz zur Informationsgewinnung hat sich schon heute in der Milchproduktion, insbesondere bei größeren Beständen, etabliert (Artmann, 1992). Dazu werden Systeme eingesetzt, die sich, wie in Abbildung 10 gezeigt, unterteilen lassen (Artmann, 2002).

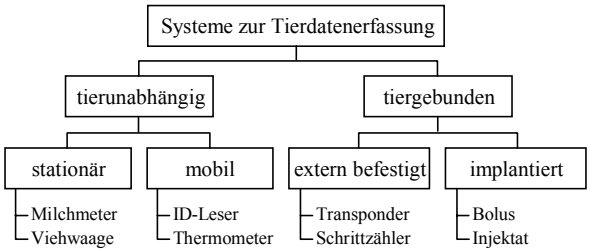


Abbildung 10
Unterteilung der Systeme zur Tierdatenerfassung (Artmann, 2002)

Mit Blick auf 2025 darf man annehmen, dass insbesondere durch die Fortschritte in der Mikrosensorik (Biosensoren, „elektronische Nasen“), aber auch durch neue Methoden der Signalaufbereitung und -analyse sowie Weiterverarbeitung (Signalprozessoren, Fuzzy Logik, neuronale Netze, adaptive Lernalgorithmen, etc.) die Überwachung der Prozessabläufe wie auch der Tiere auf eine wesentlich leistungsfähigere Grundlage gestellt sein wird.

Bisher nicht oder nur indirekt messbare Ereignisse können dann direkt erfasst und bewertet werden. Je nach Anwendung sind die einzusetzenden Systeme einfach bis sehr komplex aufgebaut. Immer sollten sie versuchen, mit geringst möglichem Aufwand die erwünschte Information zu erfassen, sie optimal, unter Beachtung bestehender Wechselwirkungen zu anderen Messwerten, zu analysieren und zu bewerten, um schließlich eine treffsichere Handlungsempfehlung geben oder nach einem weiteren Schritt diese direkt im Prozessgeschehen umsetzen zu können.

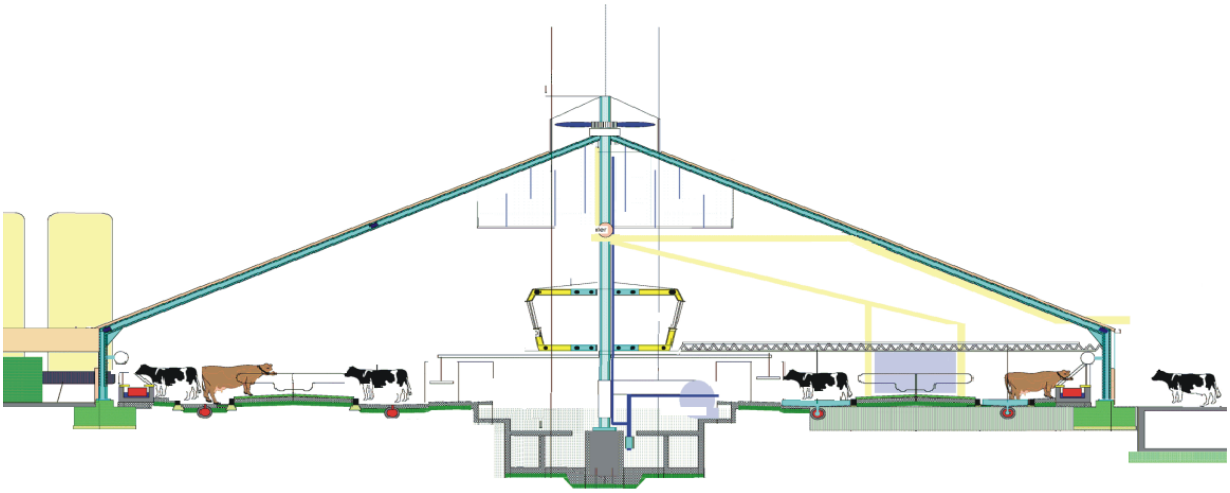


Abbildung 11
Kreisstall der Firma Kirchberger Agrarsystem GmbH

Einschätzung der Vision

Unabhängig von der eingesetzten Technologie wird die Erfassung von Tierdaten auf eine ganzheitliche Systembetrachtung ausgerichtet sein. Die tierspezifischen Daten werden mit den übrigen aus dem gesamten Produktionsprozess verknüpft werden, um höchstmögliche Vorteile realisieren zu können. Die Datenerfassung beginnt nicht an der Stalltür und hört dort auch nicht auf. Die Mengen- und Nährstoffflüsse von und zur Feldwirtschaft bzw. von und zu außerbetrieblichen Bezugs- und Absatzquellen werden einbezogen. Mit diesem Ansatz kommt man zu einem System des „Precision Lifestock Farming“ (Schön et al., 2001)

2.8 *Stallgebäude der Zukunft* (J. Gartung)

In der Milchviehhaltung hat sich der Liegeboxenlaufstall durchgesetzt. Seine wesentlichen Vorteile sind die rationellen Arbeitsabläufe und die tiergerechten Haltungsbedingungen. Weil sich die Kühe frei im Stall bewegen können, lässt er sich in verschiedene Funktionsbereiche aufteilen. Die jeweiligen Räume können den Bedürfnissen der Tiere (Stall) und der Menschen (Melkstand) optimal angepasst werden. Die Gebäudehülle hat im Tierbereich nur die Aufgabe, die Kühe gegen Wind und Niederschläge sowie übermäßige Erwärmung im Sommer zu schützen. Außenklimanahe Bedingungen können im Stall bei allseitig mit Wänden umschlossenen Stallräumen durch großflächige Zu- und Abluftöffnungen und durch einen großen Luftraum erreicht werden. In Abbildung 11 ist der Entwurf eines neuen Stallkonzeptes dargestellt, das sich zukünftig durchsetzen könnte. Die Planung stammt von F. Kirchberger, AgrarSystem GmbH.

Idee und Grundlage der Vision

Ein Liegeboxenlaufstall dieser Art schafft neue Zuordnungen der Funktionsbereiche Liegen, Fressen und Melken. Alle Prozesswege laufen kreissymmetrisch um das Stallzentrum.

Überschneidungen und Kreuzungen werden vermieden, insbesondere zwischen den Gruppen der Herde im Tierverkehr. So wird ein insgesamt

reibungsloser Ablauf mit kurzen Wegen und ohne Warteschlangen erreicht. Das Melkzentrum ist in der Mitte angeordnet. Daran anschließend nach außen folgen die Laufgänge und Liegeboxenreihen. Der Futtertransport wird von einem schwimmenden Verband aus Futtertrögen in einem kreisförmigen Wassergraben am Außenrand des Stalls ausgeführt.

Einschätzung der Vision

Durch zahlreiche technische Neuerungen und die gewählte Gebäudeform kann im Kreisstall der Ammoniakaustrag reduziert werden. Schnelles, häufig wiederholtes Abräumen der Laufflächen mit rundfahrenden Schiebern lässt die Freisetzung von Ammoniak bremsen. Verglichen mit rechteckigen Grundrissen werden die abgasenden Flächen durch die Kreisform erheblich reduziert. In der Dach-Kegelfirstluke werden Ammoniakreste in der Stallabluft durch eine Wasch-Filteranlage weiter abgesenkt. Die Wandflächen bestehen aus Jalousien, die, elektrisch gesteuert sektoral geöffnet oder geschlossen werden können. Dadurch entsteht ein Venturi-Effekt am Firstpunkt bei allen Windeinflüssen.

Einzeltierfütterungen, die für hohe Milchleistungen erforderlich sind, erfolgen an Futtertrögen, die automatisch befüllt werden. Zum Transport der Futterbehälter von der Befüllstation zu den Tieren bietet der Kreisstall gute Möglichkeiten der Mechanisierung.

2.9 *Investitionskosten bei automatischen Melkverfahren in Laufställen*
(F.-J. Bockisch und J. Gartung)

Die Investitionskosten für Laufstallsysteme mit Automatischen Melkverfahren (AMV) sind derzeit noch relativ hoch. Dies zeigen Kostenermittlungen für verschiedene Ausführungs- und Bestandsgrößenvarianten im Vergleich zu Laufställen mit üblichen Gruppenmelkständen und Melkkarussellvarianten (Abbildung 12). Insbesondere bei den Einboxenanlagen (LELY, LEL_K) fällt auf, dass die Investitionskosten je Tierplatz absätzig verlaufen. Dies kann bei weiter anhaltender Milchkontingentierung zu Investitionsproblemen führen, da aus wirtschaftlichen Gründen der Tierbestand dann in Schritten von ca. 50 Kühen erweitert werden müsste.

Andererseits zeigt dieser Vergleich, dass bei einer Bestandsgröße von etwa 180 bis 200 Kühen die Kostendifferenz zwischen Laufställen mit Melkkarussell und Einboxenanlagen „nur“ ca. 750 Euro beträgt. Diese Differenz kann schon jetzt für zukunftsträchtige Familienbetriebe wirtschaftlich interessant sein, wenn die Vorteile einer flexiblen Arbeitszeiteinteilung für den Betriebsablauf genutzt werden sollen.

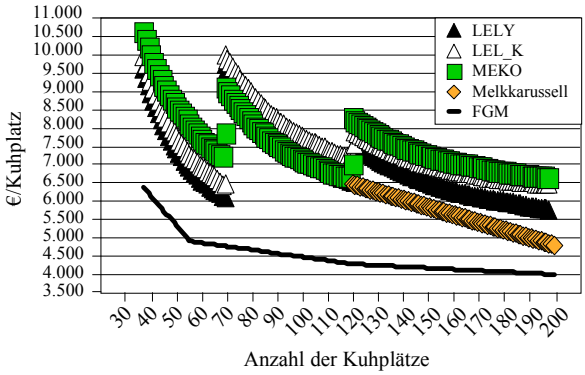


Abbildung 12
Investitionsbedarf für Liegeboxenlaufställe mit automatischem Melksystem im Vergleich zu Ställen mit Fischgrätenmelkstand (FGM) bzw. Melkkarussell (Bockisch et al., 1998)

Idee und Grundlage der Vision

In Familienbetrieben mit Milchkuhhaltung ist die feste und unflexible Bindung der Arbeitszeiten und der Arbeitskräfte an den Betriebszweig einer der größten Nachteile im Vergleich zu den anderen Produktionseinrichtungen. Zukünftig gilt es, insbesondere hinsichtlich der Flexibilisierung und der Prozessqualitätsverbesserung Fortschritte zu erreichen.

Erste Ergebnisse der Untersuchungen von BMVEL-Modellvorhaben 2001/03 „Milchviehställe mit automatischen Melkverfahren“ weisen darauf hin, dass Ein- oder Mehrboxenanlagen auch bei größeren Herden erfolgreich eingesetzt werden.

Einschätzung der Vision

Nach bisherigen Kostenermittlungen sind die Investitionen bei Ställen mit automatischen Melkverfahren noch deutlich höher als bei konventionellen Systemen. Bei größerer Nachfrage und ggf. mehr Anbietern wird davon ausgegangen, dass sich die Kosten für AMV-Ställe reduzieren.

Darüber hinaus ist zu erwarten, dass bei weiter verbesserter Technik die Motivation der zukunftsfähigen Familienbetriebe (bis ca. 250 Kühe) steigt, mehr in eine qualitativ bessere Melktechnik (hier vor allem Flexibilisierung der Arbeitszeit) zu investieren. Derartige Mehrinvestitionen in qualitativ bessere Funktionsbereiche und Arbeitsplätze gab es auch beim Übergang vom „Anbindestallmelken“ zum „Melkstandmelken“.

3 Zusammenfassung

Für den wichtigsten Erwerbszweig tierhaltender landwirtschaftlicher Betriebe werden vor dem Hintergrund sich abzeichnender Entwicklungen der Milchviehhaltung technische Beispiele und Visionen zu „*Wie werden Milchkühe 2025 gehalten und gemolken*“ dargestellt und erläutert:

- Verfahren zur Erzeugung von hochwertigem Grundfutter werden konzipiert.
- Tierhaltung auf Einstreu befindet sich als Glied der Stroh-Festmist-Kette auf dem Vormarsch.
- Verfahren zur Genehmigung von Güllelagern könnten verkürzt werden.
- Weidehaltung als artgerechte Haltungsform könnte als Ausgangspunkt für zukünftige „Stallkonzepte“ dienen.
- „Melkroboter“ werden in Beständen von 50 bis 250 Milchkühen dominieren.
- Die Verwendung von Sensoren, die Milch und Tiere kontrollieren und überwachen, werden weiterentwickelt, die Vorsorge und Früherkennung von Problemen wirkungsvoll unterstützt und damit der Einsatz von Medikamenten minimiert.
- Elektronische Tiererkennung sowie hard- und softwareunterstütztes Herdenmanagement, auch als „*precision lifestock-farming*“ bezeichnet, entwickeln sich zu integralen Bestandteilen neuer Technik- und Stallkonzepte.
- Neue Stallgebäude-Konzepte – wie z. B. der Kreisstall – und spezielle Anpassungen an Automatische Melkverfahren werden Mehrinvestitionen infolge qualitativ besserer Funktionsbereiche und Arbeitsplätze rechtfertigen.

Diese Einschätzungen und Visionen der Wissenschaftler des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL sollen bis 2025 weiterentwickelt und realisiert werden.

Literatur

Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e. V. Rinderproduktion in der Bundesrepublik Deutschland. (Verschiedene Jahrgänge) ISSN 0178-8841

Artmann R (1992): Einbindung der Tierüberwachung in automatisierte Haltungsverfahren. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 135, 82-99

Artmann R (2002): Automatische Datenerfassung von landwirtschaftlichen Nutztieren. Vortrag: Internationaler Workshop „Sensor-aided measurement of different animal data“ 23.-24. Mai in Potsdam-Bornim

Barth K, Graupner M (1999): Experimentelle Untersuchungen zur Eutergesundheit und Milchqualitätskontrolle auf der Basis der Leitfähigkeitsmessung während des Melkens. Milchwissenschaft 54, 2, 66-69

Bockisch F-J, Uminski K, Gartung J (1998): Bauplanungsvarianten und Baukostenvergleiche für Ställe mit automatischen Melksystemen. KTBL-Arbeitspapier 250, 131-136

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2001) Agrarbericht der Bundesregierung 2001. Bonn

Georg H, Meyer O, Distl O, Bockisch F-J (2001): Auswirkungen unterschiedlich gestalteter Laufflächen auf die Klauengesundheit von Milchkühen. In: Tagung Bau, Technik und Umwelt 2001 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Stuttgart, Institut für Agrartechnik, 188-192

Hilty R, Kaufmann R, van Caenegem L (2002): Landwirtschaftliches Bauwesen. In: Jahrbuch Agrartechnik, H.J. Matthies und F. Meier (Hrsg.), Landwirtschaftsverlag GmbH Münster, Band 14, 163-170

ISO 11784 Radio-frequency identification of animals – Code structure. Sec. Ed. 1996.08.15

ISO 11785 Radio-frequency identification of animals – Technical concept. 1996.10.15

ISO 14223 Radio-frequency identification of animals – Advanced Transponders. Part 1 to 3. In preparation

Isselstein J, Müller J (2002): Erzeugung hochwertigen Grundfutters für Milchkühe. In: Neue Wege in der Tierhaltung. KTBL-Schrift 408. KTBL-Darmstadt, 98-107

Klindtworth M, Wendl G, Pirkelmann H, Reimann W, Klindtworth K (1999): Die elektronische Tierkennzeichnung im europäischen Großversuch – Vorstellung des Projektes I-DEA. 4. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt 1999 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Landtechnik Weihenstephan 1999, 459-462

Krentler J-G (1999): The building of manure storage containers with covers in accordance with new safety standards. Tagungsband AgEng Oslo auf CD, Aug. 1999, Paper No. 98-B-054

N N DIN 6174, Farbmetrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach der CIE-LAB-Formel

Ordolff D (2001): Einsatz von Farbmessungen zur Bewertung von Vorgemelken. Proc. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landw. Nutztierhaltung, Stuttgart-Hohenheim, 6./7.3.2001, 218-223

Ordolff D (2002): Influence of somatic cell count on foremilk colour with respect to automatic milking systems (im Druck)

Ouweltjes W, Hogeveen H (2001): Detecting Abnormal Milk Through Colour Measuring. Proc. Ann. Meeting National Mastitis Council 2001, 217-219

Paul C, Rode M, Feuerstein U (2000): From laboratory to harvester – forage analysis by NIRS diode array instrumentation. Grassland science Europe, 2000, 259 –261

Rinder Report, Betriebswirtschaftliche Mitteilungen, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, verschiedene Jahrgänge

Schön H, Wendl G, Klindtworth M, Harms J (2001): Precision Livestock Farming – Konzeption, Stand der Forschung, Zukunftsperspektiven. Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Hohenheim, 6./7.2.2001, 1-9

Sonnenberg H (2002): Mechanische Aufbereitung von Einstreumaterial für die Tierhaltung zur Verbesserung der Qualität. Dissertation Gesamthochschule Kassel, Witzenhausen (im Druck)

Sonnenberg H, Hinz T, Deininger A (2000): New aspects of cattle housing on straw bedding. In: AgEng Warwick 2000: full papers; Agricultural Engineering into the Third Millenium; 2000.07.02-07, Warwick/UK Paper Number 00-AP-041

Verordnung zum Schutz gegen die Verschleppung von Tierseuchen im Viehverkehr (Viehverkehrsverordnung) Bundesgesetzblatt Jg. 1998 Teil I Nr. 32 s.1194 vom 9. Juni 1998

Verordnung zur Änderung der Verordnung über Nachweispflichten für Arzneimittel, die zur Anwendung bei Tieren bestimmt sind, und zur Änderung der Verordnung über tierärztliche Hausapotheken. Bundesgesetzblatt Teil I S. 2131 vom 21.08.2001.

Walter, K (1995): Entwicklung der Tierarztkosten in der intensiven Milchviehhaltung. Praktischer Tierarzt Bd. 76, H. 6, 546 ff.

Walter K, Heinrich I, Böckmann U (1998): Entwicklung der Preise und des Einsatzes von Grund- und Kraftfutter in der Rinderhaltung –20 Jahre „Arbeitskreis Forschung und Praxis“ in der FAL. Berichte über Landwirtschaft Bd. 76, 87-104

Weiß J, Mirbach D, Bonsels T (1999): So wirtschaften Spitzenbetriebe in Deutschland. Arbeiten der DLG 196, 11-32

Wendl G, Haidn B, Rittel L, Schön H (2001): Perspektiven der Verfahrenstechnik in der Rinderhaltung. Landtechnik-Schrift Nr. 12 "75 Jahre Bayrische Landesanstalt für Landtechnik, 143 ff.

Welche Chancen hat die ökologische Milchviehhaltung?

Gerold Rahmann, Rainer Oppermann, Kerstin Barth*

1 Einleitung

Die ökologische Milchproduktion ist in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. Die enorme Absatzsteigerung bei Biomilch von 100 % im Jahr 2001 und prognostizierten Zahlen von jährlich 25 bis 35 % in den nächsten Jahren lassen diesen Markt auch für Molkereien, Handelsunternehmen und nicht zuletzt für die Politik interessant erscheinen (ITC, 1999 und 2002; Milchmarketing, 1999). Allgemein wird erwartet, dass ökologisch erzeugte Lebensmittel und damit auch Biomilch in den nächsten Jahren ihr Nischendasein verlassen werden (Hamm und Michelsen, 2000; Schockemöhle, 2001; Hahn, 2000).

Im Frühjahr 2001 - Jahre später als andere Länder - hat Deutschland die Ausdehnung des ökologischen Landbaus zu einem Ziel der Agrarpolitik erklärt. Nach Vorstellungen der Bundesregierung soll der ökologische Landbau bis 2010 einen Anteil von 10 % und bis 2020 sogar 20 % umfassen (Künast, 2001). Verbesserte Rahmenbedingungen, einzelbetriebliche Förderungen und Marketing-Unterstützung sollen helfen, dieses zu erreichen. Auch die EU ist bestrebt, den ökologischen Landbau verstärkt zu fördern. Wenn diese Politik Bestand hat, wird sich dieses auf die Produktion, Verarbeitung und Vermarktung von Biomilch nachhaltig auswirken.

2 Was ist ökologische Milchviehhaltung?

Die Milchviehhaltung hat wichtige Funktionen im ökologischen Landbau:

- Rinder dienen im idealtypischen Kreislaufsystem des Betriebsorganismus als Verwerter und Veredler von Pflanzen und Pflanzenresten, die für den menschlichen Verzehr nicht geeignet sind und spielen als Mistproduzenten eine wichtige Rolle in der Humuswirtschaft. Ein ausgewogenes Verhältnis von Rinderhaltung und Pflanzenbau wird deswegen angestrebt (IFOAM, 2001).
- Die Milch- und Rindfleischerlöse tragen nicht unerheblich zum landwirtschaftlichen Einkommen bei.

Die ökologische Milchviehhaltung basiert auf festgeschriebenen und kontrollierten Produktions- und Verarbeitungsrichtlinien des ökologischen Landbaus (Rahmann, 2001a). Seit 1991 ist die EG-Verordnung 2092/91 gesetzlicher Mindeststandard (EG, 1991), die 1999 durch die EU-Verordnung 1804/99 zur ökologischen Tierhaltung ergänzt wurde und seit dem 24. August 2000 in Kraft ist (EU, 1999). Sie beschreibt die Produktionsprozesse, die einzuhalten sind, damit beim Vermarkten auf ökologische oder biologische Produktion hingewiesen werden darf (AGÖL, 1999).

Die Einhaltung der Richtlinien muss in jedem ökologischen Betrieb mindestens einmal jährlich durch unabhängige Kontrollstellen überprüft werden (durch Buchkontrolle und Betriebsbegehungen) (EG, 1991). Über die üblichen landwirtschaftliche Buchführung und sonstigen Standards (z. B. dem neuen Qualitätssiegel für Fleisch QS) hinaus sind von jedem ökologischen Betrieb Aufzeichnungen über Flächenbewirtschaftung, Ver- und Zukäufe, Tierbehandlungsmaßnahmen etc. zu führen. Die Kontrollstellen erkennen erst nach einer jährlichen Prüfung durch Zertifikat ökologische Produkte an. Sie sind zuständige Stelle für Ausnahmegenehmigungen.

Auf privatrechtlicher Basis gibt es über die EG-Verordnung 2092/91 hinausgehende Regelungen der ökologischen Anbauverbände (Bioland, Demeter, Biopark, Naturland inkl. ANOG, Gäa, Ökosiegel, Biokreis), die ebenfalls einzuhalten sind, wenn Produkte mit den spezifischen Warenzeichen der Anbauverbände versehen werden. Auf diese wird in den folgenden Kapiteln teilweise ebenfalls eingegangen.

2.1 Die Umstellung der Futterflächen und der Kühe

Zunächst ist die Umstellung vom konventionellen auf den ökologischen Landbau auf die landwirtschaftlichen Flächen bezogen. Angestrebt ist eine

* PD Dr. Gerold Rahmann, Rainer Oppermann und Kerstin Barth, Institut für ökologischen Landbau (FAL), 23847 Westerau, Trenthorst 32.

gesamtbetriebliche Umstellung, gegenwärtig ist nach EG-VO 2092/91 aber eine Betriebszweigumstellung noch erlaubt. Es laufen Bestrebungen, dieses - wie bei den Anbauverbänden üblich - nicht mehr zu erlauben, da die klare Trennung zwischen den Betriebszweigen problematisch ist und die Kontrolle erschwert (Haccius, 1999). Grünland sowie Ackerland können 12 Monate nach der letzten nicht-richtlinienkonformen Behandlung (z. B. Pflanzenschutzmittel, synthetisch-mineralische Dünger) als „in Umstellung“ benannt werden, Produkte dieser Flächen gelten als Umstellungsware. Nach weiteren 12 Monaten (also insgesamt zwei Jahren) gelten die Flächen als umgestellt und die dort geernteten Produkte können als „ökologisch“ oder „biologisch“ vermarktet werden.

Auch für Produkte der Tierhaltung gibt es Umstellungszeiten. Kühe müssen sechs Monate (bis 24. August 2003 nur drei Monate) nach den Kriterien der EG-VO 2092/91 gehalten worden sein, bevor Milch als Biomilch verkauft werden kann (siehe folgende Kapitel).

2.2 Flächenbindung der Tierhaltung

Die ökologische Tierhaltung erfolgt in Anbindung an eine bestimmte Flächenausstattung. Nach EG-VO 2092/91 haben Besatzobergrenzen dabei nicht – wie die Anbauverbände - die Futterproduktion, sondern die Düngung mit Wirtschaftsdünger als Basis. Es sind nach EU-Recht maximal so viele Tiere erlaubt, dass 170 kg N pro Hektar und Jahr aus Wirtschaftsdünger nicht überschritten werden.

Damit die Praktikabilität der Obergrenzen für Wirtschaftsdünger gegeben ist, wurden für Nutztiere Orientierungszahlen auf der Basis von Tierzahlen festgelegt, die eine Obergrenze definieren (Tabelle 1). Die Anbauverbände gehen ähnlich vor und definieren 1,4 Dungeinheiten als Obergrenze pro Hektar und Jahr, wobei eine Dungeinheit 80 kg N und 70 kg P_2O_5 entspricht. Dieses entspricht maximal 110 kg N und 98 kg P_2O_5 pro ha und Jahr aus Wirtschaftsdünger (AGÖL, 2001).

Tabelle 1
Maximum an Rindern pro Hektar und Jahr gemäß EWG VO 2092/91, Anhang I B 7. und Anhang VII

	Anzahl
Milchkühe (laktierend) und männliche Rinder über zwei Jahre	2
Weibliche Rinder über zwei Jahre (nicht laktierend)	2,5
Männliche und weibliche Rinder zwischen ein und zwei Jahren	3,3
Mastkälber und andere Rinder unter einem Jahr	5

2.3 Fütterung

In der Milchkuhfütterung sind nur in EG-VO 2092/91 Anhang I B 4.2. aufgeführte Futtermittel erlaubt, wo unter anderem synthetische Futterzusatzstoffe (Aminosäuren, Vitamine, etc.) und Tiermehle explizit verboten sind. Futtermittel mit gentechnisch veränderten Organismen sowie deren Derivate sind ausdrücklich verboten (Schmidt, 1999; FAO/WHO, 1999; FAO, 2000; IFOAM, 2001; Rahmann, 2001b). Betriebseigenes Futter ist nach EG-VO 2092/91 nicht vorgeschrieben, während die ökologischen Anbauverbände mindestens 50 % vorschreiben. Biofutter kann also gekauft werden. Davon darf nach EG-VO 2092/91 30 % betriebsfremdes bzw. 60 % betriebseigenes Futter aus der Umstellung stammen. Ökologische Anbauverbände haben darüber hinausgehende spezielle Bestimmungen, die zum Beispiel die Anteile der Umstellungsfuttermittel, den Anteil zugekauftem Futter oder den Anteilen von Futtermitteln, die nach den Kriterien des Verbandes produziert wurden, beinhalten (AGÖL, 2001; Bioland, 2001; Demeter, 2001).

Bis zum 24. August 2005 können 10 % der Jahresfuttermenge bzw. 25 % einer Tagesration (bezogen auf die Trockensubstanz) aus konventioneller Produktion stammen. Als Konsequenz aus der BSE-Krise 2001 erlauben zum Beispiel Bioland und Demeter nicht mehr alle Futtermittel aus konventioneller Produktion.

Bereits nach 15 Monaten Umstellungszeitraum kann Biomilch verkauft werden. Dieses ist zum Beispiel möglich, wenn die Fütterung aus 60 % betriebseigenem Umstellungsfutter (nach 12 Monaten Umstellungszeitraum), 30 % zugekauftem biologischen Futter und 10 % zugekauftem konventionellen Futter besteht und die Kühe damit mindestens drei Monate gefüttert wurden (Rahmann, 2001a).

Das Futter von Wiederkäuern muss aus mindestens 60 % Raufutter bestehen. Nur für hochleistende Milchkühe werden für eine begrenzte Zeit auch 50 % erlaubt, damit es zu keiner Unterversorgung kommt. Bestimmte Anbauverbände haben hier bestimmte Sonderregeln. Zum Beispiel hat Bioland festgelegt, dass nicht das ganze Jahr über Silage als alleiniges Raufutter gefüttert werden darf. Kälber erhalten drei Monate natürliche Milch, vorzugsweise Muttermilch. Dieses bedeutet, dass Vollmilch getränkt oder Ammenkuhhaltung praktiziert werden muss.

2.4 Tierzukäufe und Zucht

Tiere sind von anderen ökologischen Betrieben zu beschaffen. Nur sofern nachweislich keine Tiere verfügbar sind, können bis Ende 2003 in beschränktem Maße Tiere von konventionellen Betrieben gekauft werden. Maximal 40 % der Herde können für einen Bestandsaufbau oder nach unvorhergesehenen Ereignissen (z. B. Seuchenzüge, Naturkatastrophen) konventionell zugekauft werden. Ansonsten dürfen zur Bestandsergänzung und für einen züchterischen Austausch pro Jahr maximal 10 % der Milchkuhherde konventionell als Färsen (vor dem ersten Kalben) zugekauft werden. Kälber dürfen bei einem Zukauf von konventionellen Betrieben maximal sechs Monate alt sein. Für den Zukauf männlicher Zuchttiere bestehen keine Beschränkungen, soweit sie während ihres Einsatzes gemäß den Richtlinien gehalten werden. Alle diese Regelungen benötigen Ausnahmegenehmigungen des Kontrollverbandes, der für den Betrieb zuständig ist.

Die Zucht auf dem Hof soll vorzüglich durch den Natursprung erfolgen, künstliche Besamung ist jedoch nicht verboten. Embryo-Transfer oder andere biotechnische als auch gentechnische Verfahren sind nicht erlaubt.

2.5 Gesundheitsmanagement

Im ökologischen Landbau ist das Ziel, Tiere gesund zu erhalten statt Krankheiten zu kurieren. Hierbei sollen tiergerechte Lebensbedingungen, angemessene Leistungsansprüche und eine geeignete genetische Disposition inklusive Fitness der Tiere helfen. Die prophylaktische bzw. routinemäßige Gabe von Tierarzneimitteln (soweit nicht behördlich vorgeschrieben), hormonelle Behandlungen (z. B. zur Brunftsynchronisation), synthetische Futterzusatzstoffe (außer Vitamine) oder Masthilfsmittel sind verboten. Impfungen sind erlaubt. Auch chemisch-synthetisch hergestellte allopathische Entwurmungsmittel können eingesetzt werden, soweit Untersuchungen von Kotproben eine Behandlung als erforderlich erscheinen lassen.

Falls ein Tier trotzdem krank wird, sind zunächst Naturheilverfahren (Homöopathie, Phytotherapie etc.) einzusetzen. Wenn diese nicht die veterinärmedizinisch gewünschte Wirkung zeigen, können auch im ökologischen Landbau chemisch-synthetisch hergestellte allopathische Tierarzneimittel eingesetzt werden, wenn sie vom Tierarzt verschrieben werden. Ihre Anwendung ist jedoch strikten Regelungen unterworfen. So sind doppelte Wartezeiten (falls keine Wartezeiten angegeben sind mindestens 48 Stunden) einzuhalten. Wird ein Tier mehr als dreimal pro Jahr mit chemisch-synthetisch hergestellten allopathischen Tierarzneimitteln behandelt, dürfen die Produkte nicht mehr als ökologisch vermarktet werden. Sämtliche Daten zur Tiergesundheit sowie der Gabe von Medikamenten sind in einem Stallbuch zu vermerken und bei der Betriebskontrolle vorzulegen.

2.6 Weidehaltung, Stallungen und Ausläufe

Weidehaltung während der Vegetationsperiode ist ein angestrebtes Ziel in der ökologischen Tierhaltung. Wenn dieses nicht möglich ist, muss ein Auslauf für die Tiere gewährt werden, den diese jederzeit aufsuchen können (Bertsch, 1999). Die Anbindehaltung ist verboten. Ein Laufstall mit definierten Mindestflächen ist vorgeschrieben (Tabelle 2). Ausnahmegenehmigungen (z. B. für Kleinstbestände) sowie Übergangszeiten bis 2010 sind möglich.

Für jedes Tier muss ein Fress- und Liegeplatz vorhanden sein, der jederzeit frei zugänglich ist. Ebenfalls muss jederzeit freier Zugang zu Tränkewasser bestehen. Maximal 50 % der Lauffläche darf aus Spaltenböden oder Gitterstrukturen bestehen. Systematische Enthornungen sowie Kuhtrainer sind nicht erlaubt. Der planbefestigte Boden muss rutschsicher sein, Liegeboxen sind mit einer weichen Unterlage zu versehen. Bei den ökologischen Anbauverbänden ist natürliche Einstreu einzusetzen (Hörning, 1997). Kälberhaltung in isolierten Kälberboxen ist verboten, es muss Sozialkontakt möglich sein (Rist, 1989). Der Platzanspruch für Kälber orientiert sich nach der allgemeinen Kälberhaltungsverordnung, ohne die dort beschriebenen Ausnahmemöglichkeiten. Wenn ab der achten Lebenswoche mehr als drei Kälber vorhanden sind, sind diese in Gruppen zu halten.

Tabelle 2
Mindestfläche im Laufstall und im Auslauf für Rinder nach EG-VO 2092/91 Anhang VIII 1

Funktions- und Altersgruppen	**Lebend-gewicht** LM in kg	**Netto-Fläche im Laufstall** m² pro Tier	**Netto-Fläche im Auslauf** m² pro Tier
Männliche und weibliche Zuchtrinder	≤ 100 kg	1,5	1,1
"	≤ 200 kg	2,5	1,9
"	≤ 350 kg	4,0	3,0
"	> 350 kg	5,0 [1)]	3,7 [2)]
Milchkühe (laktierend)		6,0	4,5
Zuchtbullen (> 2 Jahre)		10	30

1) Mindestens ein m² pro 100 kg LM.

2) Mindestens 0,75 m² pro 100 kg LM.

3 Wo steht die ökologische Milchviehhaltung in Deutschland?

Von 1985 bis 2000 hat sich der ökologische Landbau in Deutschland kontinuierlich ausgedehnt. Dieses gilt sowohl für die bewirtschaftete Fläche als auch die Anzahl Betriebe (Abbildung 1). Wurden 1985 nur 24.940 Hektar LN von 1.610 Betrieben (durchschnittlich 15,5 ha pro Betrieb) ökologisch bewirtschaftet, so waren es Ende 2001 bereits 655.400 ha LN bei 14.400 Betrieben. (durchschnittlich 45,5 ha pro Betrieb; davon 9.025 bzw. 63 % landwirtschaftlichen Betriebe mit Verbandsmitgliedschaft mit zusammen 467.632 ha LF bzw. 71 %).* Dieses entspricht erst 3,7 % der gesamten landwirtschaftlich Nutzflächen bzw. 3,25 % aller landwirtschaftlichen Betriebe. Andere Länder haben wesentlich höhere Anteile. So wurden im Jahr 2000 in Österreich 9,8 %, in der Schweiz 7,8 %, in Schweden 7,5 %, in Italien 6,5 % und in Dänemark 5,4 % ökologisch bewirtschaftet (Lampkin, 1999; Willer und Yussefi, 2001). Diese Zahlen sind sicher auch für Deutschland erreichbar, wenn die entsprechenden Rahmenbedingungen gesetzt werden.

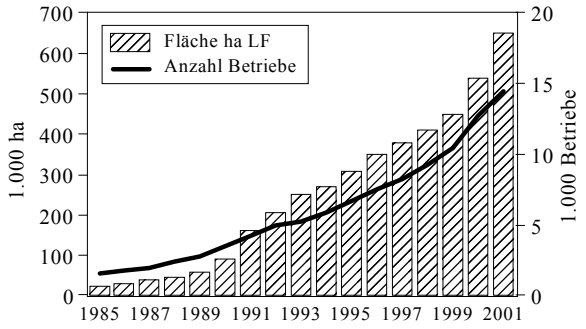


Abbildung 1
Entwicklung des ökologischen Landbaus in Deutschland von 1985 bis 2001 nach Fläche und Betrieben

* Verteilung der Biobetriebe >1 ha LF (A-zertifiziert) nach Bundesländern (Stand 31.12.2000 nach ZMP 2001): BRD: 12.740 Betriebe (2,93 % aller Betriebe) mit 546.023 ha (3,2 % der LF): davon in Baden-Württemberg: 4.292 Betriebe (6,79 %) mit 72.822 ha (4,98 %), Bayern: 3.280 Betriebe (2,2 %) mit 92.130 ha (2,81), Berlin: 7 Betriebe (k.A.) mit 73 ha (3,67 %), Brandenburg: 396 Betriebe (6,06 %) mit 97.217 ha (6,48 %), Bremen: 5 Betriebe (k.A.) mit 104 ha (1,22 %), Hamburg: 28 Betriebe (k.A.) mit 884 ha (6,47 %), Hessen: 1.478 Betriebe (5,3 %) mit 51.252 ha (6,73 %), Mecklenburg-Vorpommern: 477 Betriebe (9,25 %) mit 90.114 ha (6,59 %), Niedersachsen: 730 Betriebe (1,16 %) mit 34.763 ha (1,32 %), Nordrhein-Westfalen: 696 Betriebe (1,3 %) mit 24.506 ha (1,64 %), Rheinland-Pfalz: 423 Betriebe (1,55 %) mit 12.736 ha (1,78 %), Saarland: 45 Betriebe (2,36 %) mit 2.542 ha (3,32 %), Sachsen: 206 Betriebe (2,88 %) mit 14.284 ha (1,56 %), Sachsen-Anhalt: 175 Betriebe (3,74 %) mit 23.383 ha (2 %), Schleswig-Holstein: 319 Betriebe (1,59 %) mit 18.439 ha (1,8 %) und Thüringen: 183 Betriebe (3,94 %) mit 20.774 ha (2,59 %).

Es gibt keine genauen statistischen Zahlen zu den Strukturen in ökologischen Betrieben. Konkrete Zahlen über Tierbestände werden im Rahmen der Kontrolle zwar ermittelt, diese sind jedoch nicht öffentlich verfügbar und unterliegen dem Datenschutz. Nach einer Zählung der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau (AGÖL) - in der bis März 2001 alle ökologischen Anbauverbände vertreten waren - wurden 1999 auf 7.464 AGÖL-Betrieben† 70.341 Milchkühe gezählt (1996: 55.427 Milchkühe; SÖL 1999) (Tabelle 3).

Tabelle 3
Milchkuhhaltung in ökologischen Betrieben in Deutschland

Anbauverband	Gründung	Betriebe (Stand Ende 1999)	Fläche (Stand Ende 1999) ha LN	Milchkühe (Stand 1999) insgesamt	pro Betrieb	pro ha
Demeter	1924	1.341	49.227	16.641	12,40	0,30
Bioland	1971	3.451	120.998	31.537	9,14	0,26
Biokreis	1979	262	5.243	1.634	6,24	0,31
Naturland	1982	1.264	51.548	11.161	8,83	0,22
ANOG 1)	1962	71	2.745	194	2,73	0,07
Gäa	1989	327	35.218	4.000	12,23	0,11
Ökosiegel	1988	27	1.487	90	3,33	0,06
Biopark	1991	526	116.125	5.084	9,67	0,04
Eco vin 2)	1985	195	981	-	-	-
Insgesamt		7.464	383.572	70.341	9,42	0,18

1) Seit April 2002 dem Naturland-Verband angeschlossen.
2) Ausschließlich ökologischer Weinbau ohne Milchvieh.
Quellen: AGÖL 2000, SÖL 1999.

3.1 Produktionskennziffern der ökologischen Milchkuhhaltung

Im Jahr 2001 kann von geschätzten 100.000 Milchkühen ausgegangen werden, die in Bio-Betrieben gemolken werden. Dieses entspricht nur rund 2 % aller Milchkühe. Nach dem Agrarbericht 2002 lag die Laktationsleistung in den ökologischen Betrieben, die durch das Testbetriebsnetz des BMVEL erfasst werden (229 Biobetriebe), bei 5.007 kg Milch (Tabelle 4).

† Betriebszahlen und Anbauflächen der Anbauverbände des ökologischen Landbaus (Stand 01.01.2002): ANOG: 59 Betriebe mit 1.739 ha, Biokreis 456 Betriebe mit 11.500 ha, Ecovin 195 Betriebe mit 901 ha, Gäa 413 Betriebe mit 41.200 ha, Naturland 1.633 Betriebe mit 72.177 ha, Ökosiegel 22 Betriebe mit 1.076 ha, Bioland 4.155 Betriebe mit 153.916 ha, Biopark 717 Betriebe mit 133.123 ha und Demeter 1.375 Betriebe mit 52.000 ha. Dieses sind zusammen 9.023 Betriebe mit 467.632 ha. Ohne Verbandsangehörigkeit sind 5.375 Betriebe mit 187.768 ha. Damit haben sowohl bei den Betriebszahlen als auch bei der Fläche die Anteile zugenommen, die nicht Mitglied eines Anbauverbandes sind. Mitte der neunziger Jahre waren noch rund 90 % der Betriebe Verbandsmitglieder.

Diese war 25 % niedriger als die konventionelle Vergleichsgruppe, wo Leistungen von 6.681 kg pro Kuh und Laktation erreicht wurden. Die erforderlichen Daten für die Bewertung dieser Leistungen sind aus den Daten des Testbetriebsnetzes nicht zu ermitteln.

Tabelle 4
Betriebe des ökologischen Landbaus im Vergleich 2000/01

Art der Kennzahl		Ökologischer Landbau [1)]	Konventionelle Vergleichsgruppe [1) 2)]
Betriebe	Anzahl	229	470
Standardbetriebseinkommen	€	33.489	53.501
Arbeitskräfte	AK	2,0	1,8
nicht entlohnte AK (Fam.)	nAK	1,3	1,6
Ldw. Genutzte Fläche	ha LF	78	79
Dauergrünland	% LF	41,4	39,5
Silomais	% LF	1,4	10,1
sonstiges Ackerfutter	% LF	8,1	5,1
Vergleichswert	€/ha LF	636	635
Weizenertrag	dt/ha	37	67
Weizenpreis	€/dt	30,62	11,24
Vieheinheiten	VE	56	93
Viehbesatzdichte	VE/ha LF	0,717	1,174
Rinder	VE/ha LF	0,640	1,083
Milchkühe	VE/ha LF	0,213	0,493
Milchleistung	kg/Kuh	5.007	6.681
Milchpreis	€/100 kg	36,60	33,09
Anlagevermögen	€/ha LF	6.472	7.739
Tiervermögen	€/ha LF	477	763
Rinder	€/ha LF	446	732

1) Nicht hochgerechnete Durchschnittswerte.
2) Ergebnisse von Betrieben auf vergleichbaren Standorten (Vergleichswert/ha).
Quelle: Auszug aus dem Agrarbericht 2002 des BMVEL (Testbetriebsnetz-Daten).

Drerup (2000) hat für das Wirtschaftsjahr 1997/98 im Gebiet der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe die Produktionsdaten der Milchkuhhaltung in 25 ökologischen Betrieben mit zusammen 1.100 Milchkühen im Gebiet der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe ermittelt (Tabelle 5).

Die Zellzahl laut Leistungskontrollverband (LKV) von 236.000 weist auf Probleme in der Eutergesundheit hin. Ebenfalls ist die Bestandsergänzungsrate von 31,6 %, die Zwischenkalbezeit von 407 Tagen, die Erstbesamungsrate von 56 % und die Kälberverluste von 9,2 % als zu hoch anzusehen. Das Gesundheitsmanagement ist eines der zentralen Probleme in der ökologischen Tierhaltung, wie hier deutlich gezeigt wird. Vor allem der Verzicht auf prophylaktische veterinärmedizinische Maßnahmen als auch die Restriktionen beim Einsatz von chemisch-synthetisch hergestellten allopathischen Tierarzneimitteln zeigen den Forschungs- und Entwicklungsbedarf auch in der ökologischen Milchkuhhaltung. Dieser setzt im gesamten Produktionsprozess an und beinhaltet die Zucht, die Aufzucht, die Fütterung, die Haltung, den Umgang mit und den Leistungsanspruch an die Tiere mit dem Ziel, die Tiergesundheit besser erhalten zu können, ohne all zu sehr auf veterinärmedizinische Maßnahmen zurückgreifen zu müssen. (Dieses ist eines der Arbeitsgebiete des Instituts für ökologischen Landbau der FAL in Trenthorst).

Tabelle 5
Kennzahlen aus der Betriebszweigabrechnung von 25 Biobetrieben in Westfalen-Lippe mit zusammen 1.100 Milchkühen für das Wirtschaftsjahr 1997/98

Kennzahl		Durchschnitt (25 Betriebe)
Anzahl Milchkühe	Tiere	44
Milchleistung	kg FCM/Kuh	6.416
Milcheiweißgehalt	%	3,19
Kraftfutteraufwand	g/kg FCM Milch	143
Anteil Grundfutter inkl. Treber an FCM Milchleistung	%	70
Zellzahl laut Leistungskontrollverband	1.000 Zellen	236
Bestandsergänzungsrate	%	31,6
Durchschnittsalter	Jahre	5,3
Zwischenkalbezeit	Tage	407
Erstbesamungsrate	%	56
Kälberverluste	%	9,2
Tierarztkosten	€/Kuh	88

Quelle: Drerup 2001.

Die bislang umfassendste Untersuchung über die Strukturen der ökologischen Milchviehhaltung haben Krutzinna et al. (1996) durch 268 Interviews in Betrieben mit rund 8.000 Milchkühen durchgeführt. Davon lagen 60 % in Bayern oder Baden-Württemberg 51 % (138 Betriebe) waren dem Bioland und 40 % (118 Betriebe) dem Demeter-Anbauverband angeschlossen. In der Studie hatten 17 der Betriebe (14 davon Demeter) bereits vor 1970, 23 zwischen 1970 und 1979, 115 zwischen 1980 und 1989 und 113 seit 1990 ihre Anerkennung als Biobetrieb. Die Daten wurden durch Betriebsinterviews aufgenommen, die zwischen 1993 und 1995 durchgeführt wurden. Die Wirtschaftsjahre 1990/91 und 1991/92 wurden als Referenzjahre verwendet. Damit war die EG-VO 2092/91 noch nicht bzw. gerade in Kraft getreten und damit auch nicht die darauf aufbauenden staatlichen Förderinstrumente (Agrarumweltmaßnahmen: Flächenprämien etc.).

Bei einer durchschnittlichen Betriebsgröße von 55,8 ha lag die durchschnittliche Anzahl Milchkühe bei durchschnittlich 29,8 Tieren (0,53 Tiere pro ha). Die Rasse der Schwarzbunten hatte einen Anteil von 34 %, Fleckvieh 26 %, Rotbunte 18 %, Braunvieh 12 %, Angler/Rotvieh 3 %, Jerseys 2 % und sonstige Rassen 5 %. Die durchschnittliche

Milchleistung aller Kühe lag bei 4.953 kg FCM, 4,04 % Fett und 3,29 % Eiweiß pro Kuh und Jahr, wobei es große Unterschiede zwischen den einzelnen Herden gab. So wurden bereits damals durchschnittliche Laktationsleistungen von 8.000 kg FCM pro Kuh erzielt.

Auf 50 % der Betriebe, die von Krutzinna et al. (1996) befragt wurden, wurde das gesamte Futter selber produziert. Wurde Futter zugekauft, dann hauptsächlich von anderen Biobetrieben. Nur 10 % der Betriebe haben auch konventionelle Futtermittel eingesetzt. Je länger der Betrieb bereits ökologisch bewirtschaftet wurde, um so geringer war der Anteil an zugekauftem Futter. 56 % des Grundfutters wurde auf Dauergrünland, 33 % auf dem Acker (Kleegras, Luzerne etc.) gewonnen. Rund 580 kg Kraftfutter (80 % Getreide, noch wenig Körnerleguminosen) wurden pro Kuh und Jahr gefüttert, mit deutlichen regionalen Unterschieden in der Höhe der Kraftfuttergaben: in Bayern mit 330 kg am wenigsten und in Schleswig-Holstein mit 880 kg am meisten. Auf 53 % wurde konventionelles Mineralfutter gefüttert, die anderen Betriebe haben kein oder Laubheu, Kräuter oder ähnliches gegeben.

Das durchschnittliche Alter der rund 8.000 in der Befragung erfassten Milchkühe lag 1990/91 bzw. 1991/92 bei 5,7 Jahren, das Erstkalbealter bei 30 Monaten und die Abgangsrate bei 27 %, was damals auch in konventionellen Betrieben als üblich angesehen werden konnte. Die Zwischenkalbezeit lag bei 385 Tagen. Als wichtigste Gesundheitsprobleme wurden von den Landwirten (in abnehmender Bedeutung) Eutererkrankungen, Fruchtbarkeitsstörungen, Klauenerkrankungen (60 % der Tiere waren noch in Anbindehaltung), Nachgeburtsverhalten und Zitzenverletzungen genannt. 65 % der Betriebe gaben an, keine Gesundheitsprobleme zu haben. Unfruchtbarkeit war die wichtigste Ursache für gesundheitlich bedingte Abgänge, gefolgt von Euterproblemen, Klauen/Gliedmaßen und Stoffwechselerkrankungen. Die Erfahrung spielt bei der Tiergesundheit scheinbar eine große Rolle. So konnte festgestellt werden, dass das durchschnittliche Alter der Kühe auf bereits länger anerkannten Biobetrieben höher lag als in Betrieben, die erst kürzlich umgestellt hatten, was auch typisch für die süddeutsche Milchviehhaltung ist. Durch die Milchkontrolldaten wurde festgestellt, dass die Zellzahlen sehr hoch lagen: nur 1,3 % der Betriebe hatten weniger als 100.000 Zellen, 26,1 % zwischen 100.000 und 200.000, 40 % zwischen 200.000 und 300.000, 23,1 % zwischen 300.000 und 400.000 und 9,5 % sogar über 400.000 Zellen.

3.2 Wie rechnet sich die ökologische Milchkuhhaltung

Schockemöhle (2001) hat ausgerechnet, wie sich die ökologische Milchkuhhaltung nach einer Umstellung eines eher extensiven sowie eines eher durchschnittlichen konventionellen Betriebs rechnet (Tabelle 6). Dabei wird deutlich, dass die konventionelle Intensität bedeutsam ist, um eine Umstellung auf ökologischen Landbau wirtschaftlich erfolgreich zu bewältigen. Unter eher extensiven Bedingungen rechnet sich die Umstellung bereits heute, wenn die Milch als Biomilch vermarktet werden kann (+1,22 Cent pro kg Milch). Dieses ist leider nicht in allen Regionen möglich. Die Flächenprämien inklusive der Biomilchzuschläge reichen gegenwärtig nicht aus, um einen wirtschaftlichen Erfolg mit der Umstellung eines eher intensiven Milchbetriebes auf ökologische Wirtschaft zu erreichen (-1,47 Cent pro kg Milch). Bei einer Steigerung der Flächenprämien von heute üblichen 150 € auf 215 € pro ha und Jahr würde das Ergebnis gleich ausfallen wie unter konventioneller intensiver Wirtschaftsweise. Zu ähnlichen Zahlen ist Greimel (2001) gekommen, der dieses für die Bedingungen in Österreich errechnet hat.

Tabelle 6
Modellberechnungen für die Wirtschaftlichkeit der Umstellung von konventioneller (extensiv oder intensiv) auf ökologische Milchkuhhaltung

		Umstellung von konventionell (extensiv) auf ökologisch			**Umstellung von konventionell (intensiv) auf ökologisch**		
		extensiv	ökologisch	Differenz	Intensiv	ökologisch	Differenz
Milchquote	kg	400.000	400.000		400.000	400.000	
Laktationsleistung	kg/Kuh/Jahr	6.800	6.200		7.500	6.900	
Benötigte Kuhzahl inkl. 2 zusätzl. Kühe für Vollmichfütterung Kälber		59	67		53	60	
Kraftfuttermenge	dt/Kuh/Jahr	16	12		21	17	
Kraftfutterpreis	€/dt	7,67	15,34		15,34	30,68	
Kosten	Cent/kg	3,61	5,94	2,33	4,29	7,57	3,27
Aufzuchtkosten für Färse	€	869	971		869	971	
Kosten	Cent/kg Milch	3,20	3,92	0,72	2,90	3,52	0,62
Tierarzt, Medikamente	€	56,24	71,58		56,24	71,58	
Kosten	Cent/kg Milch	0,82	1,15	0,33	0,75	1,04	0,29
GV	GV/ha	1,25	1,25		2	1,55	
Zusätzliche Fläche	ha	0	6,4		0	12,5	
(Pacht und Flächenkosten 409 € bzw. 1.023 € pro ha und Jahr)			2.617			12.787	
Kosten	Cent/kg Milch	0	0,65	0,65	0	3,2	3,20
Stallplätze (256 €/Kuh/Jahr)	Anzahl	59	67		53	60	
Kosten	Cent/kg Milch	3,75	4,26	0,51	3,38	3,83	0,45
Akh	Akh/Kuh	43	47		43	47	
Kosten	Cent/kg Milch	8,11	10,06	1,95	7,28	9,01	1,73
Verbands- und Kontrollkosten	€/Kuh	0	16,87		0	16,83	
Kosten	Cent/kg Milch	0	0,27	0,27	0	0,17	0,17
Gesamte Mehrkosten	Cent/kg			6,76			9,80
Ökozuschläge							
Zuschlag für Biomilch (+15%)	Cent/kg Milch	0	4,96	4,96	0	4,96	4,96
Flächenprämien (150 €/ha/Jahr)	Cent/kg Milch	0	3,02	3,02	0	3,02	3,02
Differenz				+1,22			-1,47

Quelle: Schockemöhle, 2001 (umgerechnet in Euro und ergänzt um Öko-Zuschläge durch Gerold Rahmann).

4 Wo steht die Biomilchvermarktung in Deutschland?

Von den 1999 rund 325 Mio. kg produzierter Biomilch wurden rund 75 % (243 Mio. kg) auch als Biomilch verkauft. Diese Menge hat aber nur einen Anteil von rund 1,2 % an der gesamten Milchmenge in Deutschland. Damit hat Biomilch einen geringeren Anteil als andere Lebensmittel. So lag zum Beispiel der Anteil Bio-Gemüse im Wirtschaftsjahr 1997/98 bereits bei einem Anteil von 5,9 % (Bio-Obst 4 %, Bio-Hülsenfrüchte 6,3 %, Bio-Rindfleisch 2 %, Bio-Schaf- und Ziegenfleisch 11,5 %, Bio-Getreide 0,8 %, Bio-Schweinefleisch 0,2 %, Bio-Ölsaaten 0,9 %; Zahlen nach ZMP für das Wirtschaftsjahr 1997/98).

In anderen Länder - z. B. Dänemark, Österreich, Schweiz oder Schweden - hat die ökologische Milchwirtschaft erheblich mehr Bedeutung als in Deutschland (Tabelle 7).

Tabelle 7
Biomilchmarkt 2001 in ausgewählten Ländern Europas

	Produzierte Milch	Davon als Bio vermarktet	Verarbeiter	Differenz der Erzeugerpreise zw. bio. und konv.
	Mio. kg	%	Anzahl	%
Deutschland	325	75	58	15
Dänemark	440	50	10	15
Norwegen	13	15	1	10
Niederlande	90	100	8	16
Großbritannien	180	50	3	76
Österreich	290	58	30	16
Schweiz	191	83	120	20

Quelle: ZMP 2001 b.

In diesen Ländern waren staatliche Aktionsprogramme und konzertierte Aktionen von Produzenten, Verarbeitern, Vermarktern und Verbrauchern wichtige Grundlage für die Ausdehnung. In Österreich wurde in 2001 der Biomilch-Zuschlag um 51 % von 3,63 auf 5,47 Cent/kg Milch erhöht, weil der Biokäseabsatz um 30 % zum Vorjahr gestiegen ist (ZMP, 2001a). Wie erfolgreich dieses sein kann, zeigt Dänemark, wo innerhalb von 10 Jahren (1991 bis 2001) Biomilch 25 % Anteil an der gesamten Milchproduktion erreicht hat, bei einer Ausgangslage von praktisch null (Milchrind, 1999). Heute stammen rund 30 % der in Dänemark getrunkenen Frischmilch aus dem ökologischen Landbau (LZ, 2001). Durch Marktsättigung in Dänemark und Österreich wird durch dortige Produzenten der deutsche Biomilchmarkt verstärkt als Absatzort ins Auge gefasst (Biester, 2001). In den USA haben Molkereiprodukte einen Anteil von 15 % aller Ökoprodukte. Der Biomilch-Mehrpreis in Supermärkten lag in den Jahren 1997 bis 1999 bei über 60 % über dem Preis konventioneller Milch (Dunn, 2001).

Insgesamt gab es 2001 58 Molkereien, die Biomilch verarbeiten, mit steigender Tendenz. Es zeigt sich eine starke Konzentration auf wenige Molkereien. Die vier größten Abnehmer von Biomilch (68 % der gesamten verarbeiteten/verkauften Biomilch bzw. 44 % der gesamten produzierten Biomilch) sind die Andechser Molkerei Scheitz mit rund 100 Mio. kg (Scheitz, 2002), die Molkerei Rogge/Söbbeke mit 30 Mio. kg, die Küstenlandmolkerei Rostock mit 20 Mio. kg und die Milchwerke Berchtesgadener Land mit 17 Mio. kg. Es gibt große Regionen, wo Biomilch aus Mangel an entsprechenden Molkereien nicht verkauft werden kann. So ist erst seit dem Jahr 2001 eine Biomilch verarbeitende Molkerei vorhanden (Heideblume in Rothenburg; die Hamelner Molkerei hatte vorher schon eine Biomilch-Schiene, diese aber wieder eingestellt).

In der Untersuchung von Krutzinna et al. (1996) wurde ermittelt, dass 1990/91 bzw. 1991/92 21 % der insgesamt 268 befragten Biobetriebe ihre Milch direkt, zu 47 % über den Biohandel und 32 % konventionell vermarkteten – mit großen regionalen Unterschieden. Nach Hamm und Michelsen (2000) werden 50 % der Biomilch in Naturkostläden, 25 % in konventionellen LEHs und 25 % in die Lebensmittelindustrie (z. B. Babynahrung) verkauft. Trinkmilch nimmt demnach mit 38,2 % den wesentlichen Anteil am Markt für Biomilchprodukte ein, was 2,3 % der gesamten Trinkmilch entspricht (ZMP, 2001c). Das Nielsen-Handelspanel (Rippin, 2001a) hat ergeben, dass nur 5 % der deutschen Biomilchprodukte über den LEH vermarktet werden.

5 Was könnte im Jahr 2010 bzw. 2020 sein?

Das politische Ziel der Bundesregierung ist, dass im Jahr 2010 mindestens 10 % und 2020 sogar 20 % der landwirtschaftlichen Fläche ökologisch bewirtschaftet werden (Künast, 2001). Dieses wurde in dem Koalitionsbeschluss der Bundesregierung zur Nachhaltigkeit im April 2002 bestätigt. Dieses würde bedeuten, das im Jahr 2010 rund 1,7 und im Jahr 2020 sogar 3,4 Mio. ha ökologisch bewirtschaftet werden (heute werden weltweit rund 17 Mio. ha ökologisch bewirtschaftet; SÖL, 2002). Bei einer Öko-Flächenprämie von heute üblichen 150 € pro ha würden im Jahr 2010 rund 255 Mio. € sowie im Jahr 2020 rund 510 Mio. € durch die öffentliche Hand finanziert werden müssen.

Bei 7.000 kg Milch Laktationsleistung als Stalldurchschnitt wird die Grenze gesehen, die mit den Möglichkeiten ökologischer Landwirtschaft erfüttert werden können (Greimel, 2001). Diese dürften 2020 fast erreicht werden, während in der konventionellen Milchkuhhaltung 10.000 kg Laktationsleistung als Herdendurchschnitt denkbar ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Richtlinien bis 2010 im Grundsatz so bestehen bleiben, wie sie heute gelten. Ab 2010 sind alle Ausnahmegenehmigungen gemäß Verordnung EG Nr. 1804/99 zur ökologischen Tierhaltung abgelaufen.

Rund 500.000 bzw. 1 Mio. Milchkühe im Jahr 2010 bzw. 2020 produzieren dann - bei jährlich 3 % Leistungssteigerung - rund 3,15 bzw. 6,8 Mio. Tonnen Biomilch. Bei einem geschätzten Milchpreis von rund 30 € pro Tonne konventioneller Milch im Jahr 2010 sowie 15 % Biozuschlag wird die Wertschöpfung auf ökologische Milchkuhhaltung rund 141 Mio. € umfassen. Im Jahr 2010 wird die Milchkuhhaltung eher in extensiver Lage auf ökologische Wirtschaft umgestellt werden. Erst

nach Etablierung einer funktionierenden Infrastruktur zur Abnahme von Biomilch inkl. der Vermarktung ist mit umfangreichen Umstellungen auch in der intensiven Milchkuhhaltung zu rechnen.

Die Händler setzen auf eine steigende Nachfrage nach Bioprodukten, so auch Milch (BioHandel, 2002; Rippin, 2001b). Die Unternehmensberater Frost und Sullivan gehen davon aus, dass sich der Absatz biologisch erzeugter Molkereiprodukte europaweit bis 2005 verdreifachen wird (Hahn, 2000). Besonders der LEH erfährt eine starke Nachfrage nach Biomilch, wie eine Studie des britischen Marketing- und Beratungsunternehmens für die deutsche Biomilchbranche ermittelt hat (Organic Monitor, 2001). Organic Monitor (2001) schätzt den Markt für Biomilchprodukte auf 900 Mio. US-$ für das Jahr 2007.

6 Zusammenfassung

Die ökologische Milchkuhhaltung ist weniger entwickelt als andere Produktionszweige der ökologischen Landwirtschaft und hat gegenwärtig erst rund 1 % Anteil an der gesamten Milchproduktion in Deutschland. Die Steigerungsraten in den letzten Jahren waren jedoch überproportional und lagen im Jahr 2001 bei 100 %. Bis 2010 wird mit jährlichen Steigerungsraten zwischen 25 bis 35 % gerechnet. Länder wie Dänemark oder Österreich zeigen bereits heute, wo die deutsche ökologische Milchkuhhaltung im Jahr 2010 stehen könnte. Wichtig sind dabei die Rahmenbedingungen (Biomilch verarbeitende Molkereien, finanzielle Unterstützungen, auf die ökologische Landwirtschaft ausgerichtete Infrastruktur, etc.). Gegenwärtig ist die Umstellung nur für extensiv wirtschaftende Betriebe wirtschaftlich sinnvoll. Entscheidend für die Entwicklung der ökologischen Milchkuhhaltung ist die Marktnachfrage, aber insbesondere die öffentliche Förderung der ökologischen Wirtschaftsweise.

Keywords: Ökologische Milchkuhhaltung in Deutschland, Biomilchmarkt, Richtlinien für ökologische Milchkuhhaltung

Literatur

AGÖL (2000): Mitgliedsverbände Stand 1.1.00. http://www.agoel.de

AGÖL (2001): AGÖL-Richtlinien, 15. überarbeitete Fassung vom 25. Juni 2001. http://www.agoel.de

AGÖL (1999): EU-Verordnung 1804/1999: Agrarfachliche Kommentierung der AGÖL-Rahmenrichtlinien-Kommission Landbau. Die EU-Verordnung zur ökologischen Tierhaltung. Hinweise zur Umsetzung. SÖL-Sonderausgabe Nr. 72, Bad Dürkheim, 67-88

Schockemöhle F-J (2001): Öko-Milch – Eine Chance für die Zukunft? SÖL-Beraterrundbrief 2/2001, 17- 20

Bertsch B (1999): Interpretation der Verordnung bei Stallsystemen mit angehängten und mit integrierten Ausläufen. Die EU-Verordnung zur ökologischen Tierhaltung. Hinweise zur Umsetzung. SÖL-Sonderausgabe Nr. 72, Bad Dürkheim, pp. 45-48

Biester S (2001): Wirtschaftlichkeit statt Ideologie. LZ Nr. 28 vom 13. Juli 2001, S. 32

BioHandel (2002): Händler setzen auf Bio-Produkte. BioHandel, März 2002, S. 33, dort wird die Lebensmittel Praxis 1/2002 zitiert

Bioland (2001): Die Bioland Richtlinien. Stand 27. November 2001. http://www.bioland.de

BML/BMVEL Agrarberichte der Bundesregierung. Verschiedene Jahrgänge 1988-2002. Bonn/Berlin

Demeter (2001): Erzeugungsrichtlinien für die Anerkennung der Demeter-Qualität. Stand Dezember 2001. http://www.demeter.de

Drerup C (2000): Was ist beim Umstieg auf Biomilch zu beachten. top agrar 6/2000, 32-37

Dunn, N. (2001): Den EU-Markt im Visier. DLG-Mitteilungen 9/2001, S. 80-82

EG (Europäische Gemeinschaft) (1991): EG-VO 2092/1991. Brüssel

EU (European Union) (1999): Council regulation (EC) No. 1804/1999 of 19 July 1999, Bruxelles, Belgium

FAO (2000): Food Safety and Quality as affected by Organic Farming. Twenty Second FAO Regional conference for Europe. Porto, Portugal, 24-28 July 2000. Agenda Item 10.1, Rome, Italy

FAO/WHO (1999): Codex Alimentarius Commission Guidelines for the Production, Processing, Labelling and Marketing of organically produced foods. cac/gl, 32, Rome, Italy

Graf S und Willer H (Eds.) (2000): Organic Agriculture in Europe. Current Status and Future Prospects of Organic Farming in Twenty-five European Countries. SÖL-Sonderausgabe 75, Bad Dürkheim, Germany

Greimel M (2001): Wirtschaftlichkeit der Milcherzeugung im biologisch wirtschaftenden Betrieb. Österreichische Bundesanstalt für Landwirtschaft in Gumpenstein, Abt. Betriebswirtschaft, unveröffentlichtes Manuskript

Haccius M (1999): Der europäische Kontext der ökologischen Tierhaltung – Die Entstehung der EU-Tierhaltungsverordnung. Graf S, Haccius M, Willer H, 1999 (Eds.). Die EU-Verordnung zur ökologischen Tierhaltung. Hinweise zur Umsetzung. SÖL-Sonderausgabe Nr. 72, Bad Dürkheim, pp. 9-10

Hahn S (2000): Den Trend nutzen – Biomilch liegt im Trend. Agrarmarkt 9/2000, 54-56

Hamm U und Michelsen J (2000): Die Vermarktung von Ökolebensmitteln in Europa. Ökologie & Landbau 113, 1/2000, 31-38

Hörning B (1997): Tiergerechtheit und Verfahrenstechnik eingestreuter Milchviehlaufställe in der Praxis. Univ. Gh Kassel, Witzenhausen, Diss. agr.

IFOAM (2001) Basic Standards of Organic Farming. Tholey-Theley

ITC (1999 und 2002): Product and Market Development. Organic Food and Beverages. World Supply and Major European Markets. Geneva, Switzerland

Krutzinna C, Boehnke E, Herrmann HJ (1996): Die Milchviehhaltung im ökologischen Landbau. Berichte über Landwirtschaft 74, pp. 461-480

Künast R (Bundesministerin des BMVEL) (2001): Regierungserklärung zur neuen Verbraucherschutz- und Agrarpolitik. Rede vor dem Bundestag am 8. Februar 2001 in Berlin

Lampkin N (1999): Organic farming in the European Union – overview, policies and perspectives. Proceedings of Or-

ganic Farming in the European Union. Perspectives for the 21st Century. 27-28 May 1999, Baden, Austria
LZ (2001): Kurz berichtet. 33 vom 17. August 2001, S. 32
Milch-Marketing (1999): Bio-Produkte im Wandel. Auf den Spuren der Sinneslust. Milch-Marketing 5/1999, 34-39
Milchrind (1999): Dänemark: Strukturwandel ist im vollem Gange. Milchrind 4/99, 42-45
Organic Monitor (2001): The German Market for Organic Dairy Products. November 2001, 52 Seiten, www.organicmonitor.com
Rahmann G (2001a): The standards, regulations and legislation required for organic ruminant keeping. Proceedings of the HSAP / BSAS Conference on Organic meat and Milk. 4 – 6 October 2001 in Kastri, Greece (in print)
Rahmann G (2001b): Special aspects of ecological farm management on pre-harvest food safety in meat and milk. WHO consultation on Pre-Harvest Food Safety 26-28 March 2001 in Berlin, Germany, in print, Geneva
Rippin M (2001a): Bio-Frischmilch im LEH (ohne Aldi, ohne Kauf- und Warenhäuser). Ökomarkt Forum Nr. 30/2001 vom 27. 7.2001 und Nr. 44 vom 2.11.2001. S. 11-14
Rippin M (2001b): Absatz- und Umsatzwachstum von Öko-Frischmilch im LEH im 3. Quartal 2001 stabilisiert. ÖkomarktForum 51/52 2001, S. 5
Rist M (1989): Artgemäße Nutztierhaltung, Stuttgart.
Scheitz B (2002): Wo Andechser draufsteht, ist auch Andechser drin. BioHandel, März 2002, Interview, S. 13-16
Schmidt H (1999): Eine erste Interpretation der gesetzlichen Verankerung des Nichteinsatzes der Gentechnik im ökologischen Landbau. Die EU-Verordnung zur ökologischen Tierhaltung. Hinweise zur Umsetzung. SÖL-Sonderausgabe Nr. 72, Bad Dürkheim, pp. 97-103
Sixt D (2000): Wie hoch muss der Bio-Zuschlag sein? top agrar 7/2000, 28-30
SÖL (1999): SÖL-Berater-Rundbrief 3/99. Bad Dürkheim
Willer H, Yussefi M (2001): Organic Agriculture Worldwide - Statistics and Future Prospects. Bad Dürkheim
ZMP (2001a): Biomilch, Österreich. Ökomarkt-Forum Nr. 22 vom 1.6.2001, S. 13
ZMP (2001b): Europäischer Biomilchmarkt. Ökomarkt-Forum Nr. 51/52 vom 21.12.2001, S. 6
ZMP (2001c): Studie zum Markt für Öko-Molkereiprodukte. Ökomarkt-Forum Nr. 49 vom 7. Dezember 2001, S. 2

The U.S. Milk Industry in 2025 – Executive Summary

Mary Keough Ledman*

The U.S. dairy industry is a growth industry that is not inhibited by a national quota or supply management. In 2001, 97,560 dairy operations produced 77 MMT of milk. Over the past 20 years, U.S. milk production has increased at an annual average rate of 1.1 %. Growth in U.S. milk production is largely driven by increased productivity per cow. On average milk production per cow has grown by 2 % annually while the number of cows in the U.S. dairy herd has declined by 0.9 % annually. These figures, as well as recent trends, serve as the benchmark in estimating what the U.S. dairy industry will look like in 2025.

At a growth rate of 1.1 % annually (slightly above estimated population growth of 0.8 %), U.S. milk production is expected to total 99.8 MMT by 2025. Based upon productivity per cow increasing at 2 % annually, the average production per cow will reach 13.200 MT. While this figure may seem high, there are already several U.S. dairy operations that have herd averages that exceed this volume.

Still, it is questionable if productivity per cow will keep up to the 2 % benchmark. Over the past 20 years, tremendous gains in genetics, feeding and management have led to the significant increases in milk production per cow. In states with herd averages exceeding 9.500 MT per cow, the annual increase in output per cow is closer to 1 % than 2 %.

If milk production per cow does not increase by 2 % annually it will just translate to more cows in the U.S. dairy herd and not lower milk production. Traditionally the number of dairy cows has decreased by 0.9 % annually. However, in recent years, the U.S. dairy herd has increased. It is very possible that the current herd, 9.1 million head is the appropriate size to produce enough replacements. Then again, refinements in sex-semen would likely result in a contraction in the U.S. dairy herd.

According to the United States Department of Agriculture (USDA), there were 97,500 dairy operations in 2001, down from 170,000 in 1993. Milk production in the United States takes place in each of the 50 states. The traditional milk producing regions are in the northeast (Vermont, New York, and Pennsylvania) and the Upper Midwest (Minnesota and Wisconsin). Over the past two decades the growth in milk production has shifted from the traditional milk producing regions to the West, particularly California and Idaho. In 2001, California accounted for 20 % of the U.S. production, 15 MMT, followed by Wisconsin with 13 % of the production.

The structures and cultures of the California and Wisconsin dairy industries are very different as illustrated by their size, level of specialization, productivity and growth. The structural changes experienced in the U.S. dairy industry are largely driven by the adoption of technology and increased specialization. The California dairy industry is characterized by large family-owned 1,000-cow (or more) dairy farms that specialize in the production of milk. Production per cow is California averaged 9.373 MT, 15 % higher than the national average of 8.467 MT. California has 2.500 dairy operations in the state with 1.100 operations having more than 500 cows. In contrast, the Wisconsin dairy industry is characterized by small family-owned mixed agricultural enterprises with 100-cow (or less) dairy farms. Production per cow averaged 8.044 MT in 2001, 5 % less than the national average. Only 170 out of the 19.100 dairy operations in Wisconsin have more than 500-cows. The trend towards larger dairies is evident in Wisconsin as the number of operations with more than 500-cows continues to increase while the number of operations with less than 100-cows continues to decrease at rate of 7.8 % annually.

While political rhetoric and recent government subsidies have been directed toward the small dairy operations with less than 130-cows, the market place has rewarded large, efficiently managed dairy operations. In 2001, the largest 2.795 dairy operations with more than 500 cows produced 40 % of the U.S. milk supply. At this rate, the U.S. would only need 7.200 operations with an average of 1,128 cows to produce 99.8 MMT by 2025.

It is my estimation that the U.S. dairy industry is likely to have closer to 13.500 dairy operations in 2025. The industry will have three segments:

- small dairy operations with less than 500 cows;
- transition dairies 500 – 1,000 cows;
- large dairies with more than 1,000 cows.

* M. Sc. Mary Keough Ledman, Keough Ledman, Associates, USA.

The smaller dairies are likely to be operated by those specializing in dairy genetics; grassing operations, utilizing the milk robot, or dairying as a „way of life“ such as the Amish and Mennonite communities. The transition dairies are in an expansion phase to reach greater economies of scale.

The large dairies will become average and not the exception. These professional operations are expected to be family-owned as they are today. Family management is supported by several employees, approximately one per 125-cows. Many of these operations will have more than 4.000 cows. To handle animal waste, dairy operations are likely to have one hectare per cow or a waste management system similar to municipalities.

The large dairies have skilled management in the areas of human resources, financial management, marketing and strategy. Many of the existing large dairies are products of franchising. That is, successful dairy operators reinvesting the profits from existing dairies into new even larger dairies. It is the reinvesting by existing dairy operators that will serve as the basis for the continuation of structural change in the U.S. dairy industry.

Wie wettbewerbsfähig ist die deutsche Milchproduktion im internationalen Vergleich

Torsten Hemme, Johannes Holzner*, IFCN-Wissenschaftler weltweit

Mit der Agenda 2000 wurde in der EU ein Abbau der Preisstützung für die meisten Agrarprodukte eingeleitet. Zusätzlich sehen die WTO-Vereinbarungen eine stärkere Öffnung des europäischen Binnenmarktes für außereuropäische Importe vor. Diese Annäherung an Weltmarktbedingungen wird aller Wahrscheinlichkeit nach auch bei der nächsten EU-Agrarreform und der gerade angelaufenen WTO-Runde fortgesetzt.

Während Getreidebauern z. B. schon jetzt mit Erzeugerpreisen zurechtkommen müssen, die in manchen Bereichen dem Weltmarktniveau entsprechen, profitieren europäische Milchviehhalter noch von vergleichsweise hohen Inlandspreisen. Auch wenn diese durch die Agenda 2000 abgesenkt werden, stellt sich mit Hinblick auf die EU-Osterweiterung verbunden mit einem möglichen Ende der Milchquotenregelung die folgende Frage: **Wo und wie wird zukünftig Milch produziert?** Ein wesentlicher Faktor sind die Produktionskosten der Milchproduktion an verschiedenen Standorten und auch Betriebstypen.

Nachfolgend wird die Wettbewerbsstellung der deutschen Milchproduktion im Vergleich zu den Ländern Schweiz, USA, Polen, Argentinien, Indien und Neuseeland analysiert. Für jede dieser Regionen wurden im Rahmen des IFCN (International Farm Comparison Network) die Produktionsbedingungen typischer Milchviehbetriebe anhand von Buchführungsergebnissen und Produktionsstatistiken in Zusammenarbeit mit Beratern vor Ort erarbeitet (siehe Kasten zu IFCN).

IFCN - International Farm Comparison Network

Das IFCN (Bereich Milch) ist ein Netzwerk von Milchökonomen. Einmal jährlich wird ein internationaler Betriebsvergleich erstellt und im Rahmen der IFCN-Conference erörtert. Die Ergebnisse werden im Dairy Report zusammengefasst. Im Jahr 2001 wurden Milchviehbetriebe in 20 Ländern weltweit analysiert. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse für sieben Länder. Der Dairy Report 2002 ist ab Oktober zu bestellen unter www.ifcndairy.org. Die Arbeit wird koordiniert vom IFCN-Milch-Team in Braunschweig. www.ifcnnetwork.org; ifcn@fal.de.

Die Betriebsgröße aller 17 typischen Betriebe reicht von drei bis vier Kühen in Polen und Indien bis 2.100 Kühen in den USA (Region Idaho). Die Betriebe lassen sich in drei Gruppen unterteilen:

unter 50 Kühe:	Indien, Schweiz sowie die durchschnittlichen großen Betriebe in Deutschland und Polen
50 bis 100 Kühe:	Größere Familienbetriebe in Deutschland und der durchschnittliche US-Betrieb
über 150 Kühe:	Betriebe in den neuen Bundesländern, die ehemaligen Staatsbetriebe in Polen, die größeren Betriebe in den USA sowie alle Betriebe in Argentinien und Neuseeland.

Die Mehrzahl der analysierten Betriebe ist auf Milch spezialisiert, d. h., mehr als 65 % der Erlöse kommen aus dem Betriebszweig Milchviehhaltung. Dabei ist besonders in den USA und Neuseeland eine 100 %ige Spezialisierung zu beobachten. Andere betreiben dagegen zusätzlich Rindermast (z. B. der deutsche Betrieb mit 68 Kühen), Schweinehaltung (z. B. der polnische Betrieb mit drei Kühen) und häufig Marktfruchtbau.

Die Milchleistungen schwanken in den untersuchten Betrieben zwischen 2.000 und 10.000 kg/Kuh. Die geringsten Leistungen (2.000 kg/Kuh) finden sich im indischen 4-Kuh-Betrieb, welcher ca. 98 % aller Betriebe in Indien repräsentiert. Die größeren Familienbetriebe in Indien weisen, bedingt durch bessere Genetik und einem geringeren Anteil von Büffeln, höhere Milchleistungen auf.

In Polen liegt das Milchleistungsniveau bei 3.000 bis 5.000 kg/Kuh. Ursachen für die im Vergleich zu Deutschland geringen Leistungen sind in erster Linie die Genetik und das Betriebsmanagement.

Die Schweizer Milchviehhaltung wird durch die Rasse Brown-Swiss geprägt. Hinzu kommt, dass

* Dr. Torsten Hemme, Dipl.-Ing. agr. Johannes Holzner, Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.

hohe Kraftfutterpreise und reichlich vorhandenes Grünland in den Bergregionen zu einer intensiven Grünlandnutzung führen.

In der Vergleichsgruppe haben die Betriebe in Deutschland und in den USA die höchsten Milchleistungen (7.000 bis 10.000 kg/Kuh). In diesen Ländern werden neben Gras und Grassilage im erheblichen Maße Silomais und Kraftfutter eingesetzt.

Tabelle 1
Beschreibung der typischen Milchviehbetriebe

Land	Region	Der Betriebszweig Milch				Fläche*	
		Kühe	Milch-leistung	Produk-tion	Erlöse BZ-Milch	Total	Grün-land
		Zahl	t/Kuh	t/Betrieb	%	ha	%
Westeuropa							
Schweiz	Ost-Schweiz	32	7174	230	72%	27	64%
Schweiz	West-Schweiz	28	7640	214	90%	35	75%
Germany	Bayern	35	6405	224	97%	35	66%
Germany	Niedersachsen	68	7730	526	86%	90	40%
Germany	Sachsen Anhalt	650	7982	5.188	65%	1.700	33%
USA							
USA	Wisconsin	70	9755	683	99%	95	0%
USA	Wisconsin	600	9346	5.608	100%	405	0%
USA	Idaho	2100	9747	20.468	100%	249	0%
Mittel- und Osteuropa Europe							
Poland	Nord-Westen	3	2951	9	23%	10	45%
Poland	Nord-Westen	20	4482	90	79%	41	62%
Poland	Nord-Westen	180	4821	868	45%	1.000	31%
Südamerika							
Argentina	Cordoba	150	3758	564	97%	250	92%
Argentina	Buenos Aires	600	6962	4.177	100%	650	72%
Asien							
India	Haryana	4	2095	8	36%	4	0%
India	Haryana	22	5511	121	78%	7	0%
Ozeanien							
Neuseeland	Nord Insel	222	3967	881	100%	124	100%
Neuseeland	Süd Insel	478	4159	1.988	100%	267	78%

* Fläche: Land für den Betriebszweig Milch

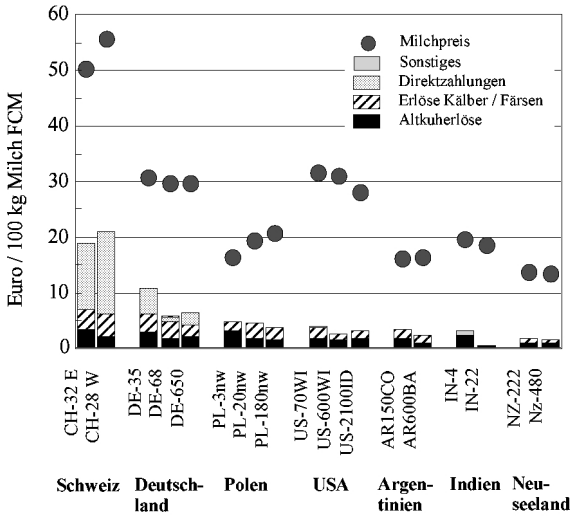
Quelle:Hemme, Holzner (2001); IFCN Dairy Report 2001

Um die Vielfalt der Milchproduktion in jedem Land abzudecken, spiegelt der jeweils kleinere Betrieb die durchschnittlichen Produktionsbedingungen des Landes wider, während die größeren Betriebe das Kostenpotenzial der Region verdeutlichen. Sie beschreiben die Produktionskosten bei größeren Betriebsstrukturen.

Milchpreise von 0,13 bis 0,56 €/kg

Die Milchpreise (siehe Abbildung 1) reichen von 0,13 €/kg (25 Pf/kg) in Neuseeland bis 0,56 €/kg (1,10 DM/kg) in der Schweiz. Auch in Deutschland und den USA erzielen Milchviehhalter vergleichsweise hohe Preise von 0,28 bis 0,32 €/kg. Die Hochpreisländer schützen ihre Inlandsmärkte durch Handelsbarrieren wie z. B. Zölle und Import

quoten. Milchviehhalter in Polen, Indien, Argentinien und Neuseeland erhalten dagegen lediglich 0,13 bis 0,21 €/kg, was der Hälfte des EU-/USA-Niveaus entspricht. Bemerkenswert sind auch die Milchpreisunterschiede innerhalb eines Landes. Der Unterschied in der Schweiz resultiert aus der Produktion von Milch für Rohmilchkäse vs. Konsummilch. In Polen bekommen die kleineren Betriebe Preisabschläge, da sie die Qualitätsnormen nicht erfüllen.



Sonstige: Verkauf von Gülle.
Quelle: IFCN Dairy Report 2001, Daten beziehen sich auf das Jahr 2000; Hemme, Holzner (2001).

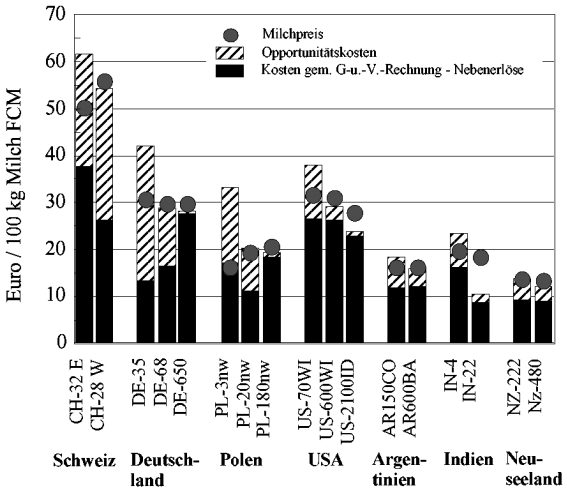
Abbildung 1
Erlöse des Betriebszweiges Milch im internationalen Vergleich

Neben der Milch erzielen die Betriebe aber auch Einnahmen aus dem Verkauf von Altkühen, Kälbern, Färsen und aus staatlichen Prämien. In der Schweiz liegen diese Erlöse, bedingt durch erhebliche Direktzahlungen, bei umgerechnet 0,21 €/kg Milch. Die unterschiedlichen Rindfleisch- bzw. Vieherlöse beruhen nicht nur auf höheren Marktpreisen für Rindfleisch in Europa, sie werden auch durch die jeweiligen Rassen, die Milchleistungen und die Remontierungsrate bestimmt. Als Beispiel seien die Altkuhpreise in der Schweiz von 1,1 US-$ im Vergleich zu 0,5 US-$/kg Lebendgewicht in Argentinien genannt.

Die Direktzahlungen (bis zu 0,15 €/kg Milch) haben eine zunehmende Bedeutung für die jeweilige Wettbewerbsfähigkeit. So übertrifft die Prämiensumme in der Schweiz schon den Milchpreis in Neuseeland. In Deutschland basieren diese Zahlungen auf den Flächenprämien für Getreide und Silomais sowie den Förderprogrammen der einzelnen Bundesländer. Die Direktzahlungen in den USA basieren ebenfalls auf Flächenprämien. Hinzu kommen aber Marktbeihilfen, die im Jahr 2000 in den USA erstmalig eingeführt wurden, um die stark gesunkenen Erzeugerpreise zu auszugleichen.

Kosten der Milchproduktion

Den unterschiedlichen Erlösen stehen die Produktionskosten gegenüber. Dies sind zum einen die Kosten wie Futtermittel, Saatgut, Diesel, gezahlte Löhne, gezahlte Pachten, Abschreibungen, usw., entsprechend den Angaben in der Gewinn-und-Verlust-Rechnung. Um aber einen Vergleich auf Vollkostenbasis durchführen zu können, werden zusätzlich die Opportunitätskosten berücksichtigt. Damit werden nicht entlohnte Familienarbeitskräfte, Eigentumsflächen und Eigenkapital bewertet. Quotenkosten wurden in dieser Betrachtung ausgeklammert.



Nerbenerlöse: Erlöse Altkuh, Kälber, Färsen, Direktzahlungen Quotenkosten sind nicht berücksichtigt
Quelle: IFCN Dairy Report 2001, Daten beziehen sich auf das Jahr 2000; Hemme, Holzner (2001).

Abbildung 2
Produktionskosten für Milch im internationalen Vergleich

Die zuvor erwähnten Nebenerlöse der Milchproduktion (wie Altkühe, Kälber, Direktzahlungen, usw.) wurden von den Kosten der Gewinn-und-Verlust-Rechnung abgezogen. Damit können die in Abbildung 2 dargestellten Kostensäulen der Milcherzeugung direkt dem Milchpreis gegenübergestellt werden. Auch der Vergleich der Produktionskosten zwischen den Ländern wird somit nicht durch Nebenerlöse verfälscht.

Ein Unternehmergewinn wird erwirtschaftet, wenn die gesamte Kostensäule geringer ist als der Milchpreis. Dann sind die Vollkosten der Milch-

produktion gedeckt. Erreicht der Milchpreis nur die Höhe der unteren Säule, so erwirtschaftet der Betrieb lediglich seine Kosten gemäß Gewinn-und-Verlust-Rechnung. Die Differenz zwischen der unteren Säule und dem Milchpreis entspricht dem betriebswirtschaftlichen Gewinn (im Sinne der Buchführung) je Kilogramm Milch.

Vergleicht man die typischen Betriebe anhand ihrer Produktionskosten, so sind vier Kategorien zu erkennen:

- Mit etwa **0,55 €/kg Milch** haben die Betriebe in der Schweiz die höchsten Produktionskosten.
- Durchschnittliche Betriebe in Deutschland (35 Kühe), Polen (drei Kühe), und den USA (70 Kühe) liegen bei **0,30 bis 0,40 €/kg Milch**.
- Das Kostenpotenzial in den USA (600 Kühe) und Deutschland (68/650 Kühe) liegt bei **0,29 €/kg Milch**. Hier ist zu erwähnen, dass die sehr großen Betriebe im Westen der USA (2.100 Kühe) die Milch 20 % billiger produzieren können **(0,24 €/kg) Milch**.
- Produktionskosten unter **0,20 €/kg Milch** erreichen aber nur die größeren Betriebe in Polen (20, 180 Kühe) sowie alle untersuchten Betriebe in Argentinien, Indien und Neuseeland. In den größeren Betrieben in Indien und Neuseeland liegen die Kosten sogar bei 0,10 bzw. 0,12 €/kg Milch.

Wer kann seine Kosten decken?

Entscheidender als die internationale Wettbewerbsfähigkeit ist zunächst die Frage, ob die jeweiligen Betriebe mit den Milcherlösen ihre Kosten decken können. Außer im 3-Kuh-Betrieb in Polen reichen in allen anderen Betrieben die Milch- und Nebenerlöse aus, um zumindest den Aufwand (laut Gewinn-und-Verlust-Rechnung) zu begleichen. Sie erwirtschaften ein positives Betriebseinkommen.

Die Opportunitätskosten werden aber nur in den Großbetrieben in Ostdeutschland, den USA, Indien und Neuseeland gedeckt. Nur in diesen Betrieben können die eingebrachten Familien-AK, die Eigentumsflächen und das Eigenkapital voll entlohnt werden. Die meisten mittleren Familienbetriebe dagegen erwirtschaften nicht genug, um den familieneigenen Arbeitseinsatz, den Boden und das im Betrieb gebundene Kapital vollständig zu entlohnen. Sie werden aber solange weitermachen, wie das Betriebseinkommen für einen ausreichenden Lebensunterhalt ausreicht.

Wie sind Produktionskosten unter 0,20 €/kg Milch zu erklären?

Der Produktionskostenvergleich zeigt, dass es Regionen gibt, in denen Milch nur halb so teuer erzeugt wird wie in den großen deutschen und amerikanischen Betrieben. Zum einen entstehen Kostenvorteile durch die Möglichkeit zur ganzjährigen Weidehaltung und durch geringe Futterkosten. Dies ist überwiegend in den Ländern der Südhalbkugel der Fall. Zum anderen führen auch geringe Lohnkosten, vor allem in Polen und Indien, zu einem Wettbewerbsvorteil.

Und der Milchstandort Deutschland?

Es wird in Deutschland kaum möglich sein, mit den Wettbewerbern auf der Südhalbkugel (10 bis 15 €/100 kg Milch) konkurrieren zu können. Letztendlich wird es darauf ankommen unter den „wettbewerbsschwachen Regionen“ der Nordhalbkugel (USA; MOE-Länder, andere EU-Länder) nicht das Schlusslicht zu sein.

Die Stärken Deutschlands sind derzeit, das produktionstechnische Know-how der Landwirte, der schwache Euro, das geringe Zinsniveau und die Kapitalverfügbarkeit bzw. Beleihungsmöglichkeiten der Betriebe. Die Direktzahlungen wie Milch-; Rindfleisch-, Flächenprämien der Agenda 2000 sowie verschiedene regionale Programme (z. B. KULAP) erhöhen die Wettbewerbskraft der Betriebe, sofern die Prämien nicht über höhere Landpreise auf die Landbesitzer überwälzt werden.

Die Schwächen liegen in der Betriebsstruktur. In den untersuchten Beispielsbetrieben können durch Betriebsgrößenwachstum bzw. Ausnutzung vorhandener Produktionskapazitäten (Wachstum von 35 auf 68 bzw. von 68 auf 120 Kühe) Kosteneinsparungen von 5 bis 6 €/100 kg Milch realisiert werden. In der bestehenden Unsicherheit über die Fortsetzung der Milchquotenregelung bleibt dieses Kostensenkungspotenzial meist ungenutzt. Der mögliche Mehrgewinn steht in keinem Verhältnis zum Risiko der Wachstumsinvestition.

Als weitere Punkt sollen hier die „Auflagen“ verschiedenster Art genannt werden (BIMSCHG, Tierschutz, etc.) In allen Ländern klagen die Landwirte, wenn auch auf unterschiedlichem Niveau, über zunehmende Restriktionen in diesem Bereich. Unterschiedliche nationalen Politiken können aber zu beachtlichen Wettbewerbsverzerrungen zwischen den Ländern führen. Ein wichtiges Ziel des IFCN ist es daher, durch international vergleichende Analysen die Möglichkeiten und Grenzen für politische Eingriffe auszuloten und Alternativen zu

untersuchen. Denn eine Auflagenpolitik, die letztlich nur die Abwanderung der Tierhaltung bewirkt, kann ihre Ziele z. B. im Bereich des Tierschutzes nicht erreichen.

Ausstieg aus dem Milchquotensystem - Wie und mit welchen Folgen?

Frank Offermann*, Werner Kleinhanß*, Dirk Manegold**

Ganz im Sinne des Tagungsthemas werfen die heute vorgestellten Beiträge mutige und spannende Blicke in die ferne Zukunft. In deutlichem Kontrast hierzu steht die derzeitige Situation in der Europäischen Union, in der mit der Quotenregelung ein klassisches planwirtschaftliches Instrument der Mengenbegrenzung existiert, das wenig Visionen zulässt. Eine Abschaffung dieses Instrumentes könnte unternehmerischen Freiraum schaffen. Vor diesem Hintergrund hat die Arbeitsgruppe „Modellgestützte Politikfolgenabschätzung" der FAL eine Untersuchung zu den „Möglichkeiten und Folgen eines Ausstiegs aus der Milchquotenregelung für die deutsche Landwirtschaft" durchgeführt (Kleinhanß et al., 2001). Die Studie ist von der Homepage der FAL abrufbar[1], ausgewählte Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

1 Ausgangssituation

Die Milchquotenregelung wurde 1984 eingeführt mit dem Ziel, die steigenden Produktionsüberschüsse zu begrenzen und in Verbindung mit der Preisstützung das Einkommen der Milcherzeuger zu sichern. Die Einführung der Milchquotenregelung hat in Verbindung mit einer sehr restriktiven Regelung der zwischenbetrieblichen Handelbarkeit von Milchquoten bis 1990/91 zu einer starken Hemmung der Strukturentwicklung milchviehhaltender Betriebe geführt. Anfang der 90er Jahre wurde die zwischenbetriebliche Handelbarkeit der Milchquoten erleichtert, indem beim Quotentransfer die Abzüge zugunsten des Staates weitgehend wegfielen, die Flächenbindung bei Quotenübertragungen gelockert und das Quotenleasing eingeführt wurde. Dies hat sich in einem beschleunigten Strukturwandel niedergeschlagen.

Mehr als die Hälfte der 1984 existierenden Milchviehhalter hat inzwischen die Milchproduktion aufgegeben. Die Quotenübertragung erfolgte dabei sowohl durch Pacht, Leasing als auch Kauf. Welche Bedeutung der Quotentransfer erlangt hat, lässt sich am Pachtquotenanteil ablesen, der in den alten Bundesländern vor Einführung der Milchbörse etwa 50 % betrug. Während die Quotenübertragung also einen Strukturwandel ermöglichte, wurde dieser in Deutschland aufgrund der hohen Pacht- und Kaufpreise aus Sicht der wachsenden Betriebe allerdings äußerst teuer erkauft. Zunehmend wird ein Teil der Quotenrente von den „aktiven" Milcherzeugern auf die „Sofamelker" überwälzt, und die Funktion der Einkommenssicherung muss zumindest im Hinblick auf die aktiven Erzeuger hinterfragt werden.

Die Agenda 2000 sieht mit der Senkung des Interventionspreises um 15 % eine Reform der Milchmarktordnung vor. Die Erlöseinbußen sollen dabei durch eine Milchprämie sowie eine geringe Erhöhung der Milchquoten teilweise ausgeglichen werden. An dem grundsätzlichen System der Mengenbegrenzung durch Quoten ändert sich jedoch nichts, so dass bei anhaltendem Strukturwandel mit einer Verschärfung der Überwälzungsproblematik zu rechnen ist.

2 Szenarien für einen Ausstieg aus der Milchquote

Vor diesem Hintergrund wurde mittels der im FAL-Modellverbund zur Verfügung stehenden Markt-, Regional- und Betriebsmodelle versucht, die Rahmenbedingungen für einen Ausstieg aus der Milchquotenregelung bestmöglich einzugrenzen und deren Folgen (Angebots- und Einkommenseffekte) abzuschätzen. Dabei galt es vor allem, Anpassungsmöglichkeiten der Betriebe realitätsnah abzubilden und die Ausschöpfung dieser Potenziale zu quantifizieren.

Als möglicher Ausstiegszeitpunkt wurde das Jahr 2008 zugrunde gelegt. Als Referenz (Vergleichsbasis) wurde die Endstufe der Agenda 2000 im Jahr 2008 gewählt, mit der unterschiedliche Szenarien für einen Ausstieg aus der Milchquotenregelung im Jahr 2008 verglichen werden.

Zur Vorbereitung des Quotenausstiegs ist u. E. eine mehrjährige Übergangszeit erforderlich. Ein Ausstieg aus der Quotenregelung wird durch eine vorausgehende Entwertung der Milchquote erleichtert. Ansatzpunkte sind die bereits in der Agenda 2000 im Rahmen der Milchmarktreform vorgesehenen Politikmaßnahmen mit Senkung des

* Frank Offermann und Prof. Dr. Werner Kleinhanß, Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.

** Prof. Dr. Dirk Manegold, Institut für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.

[1] http://www.bal.fal.de/download/ab-5-2001.pdf.

Stützpreisniveaus für Milch und einer Teilkompensation der Erlöseinbußen durch Transferzahlungen.

Um einen Strukturbruch zu vermeiden, sollten die Rahmenbedingungen schrittweise so verändert werden, dass in einer Übergangsphase möglichst das nach einem Ausstieg aus der Milchquotenregelung zu erwartende Marktgleichgewicht angesteuert wird. Transferzahlungen sollten von der Quote entkoppelt und weitgehend produktionsneutral ausgestaltet werden. Ferner ist eine rechtzeitige Ankündigung des Ausstiegs erforderlich, damit sich die Betriebsleiter auf die künftigen Rahmenbedingen einstellen können.

Da eine Fortsetzung der Reform im Milchbereich ohne Aufstockung der Transferzahlungen kaum konsensfähig sein würde, werden folgende Prämiensysteme untersucht, um Einkommenseinbußen abzumildern:

- **Milchprämien** als Beispiel für an die Produktion gekoppelte Prämien. In den untersuchten Szenarien haben sie eine Höhe von 33,3 €/t und werden nur bis zu der in der Referenz erzeugten Milchmenge gewährt. Betriebe, deren Milcherzeugung das Niveau der Referenz nicht übersteigt, erzielen also Erlöse in Höhe des Milchpreises plus der Milchprämie, für darüber hinaus erzeugte Milch besteht kein Prämienanspruch. Die Prämienrechte sind nicht handelbar.
- **Grünlandprämien** als Beispiel für teilentkoppelte Prämien. Abgeleitet wurde die Höhe der Grünlandprämie aus dem Prämienvolumen der Marktordnungsbereiche für „Milch“ und „Rindfleisch“, welches auf die Gesamtfläche an Dauergrünland und Ackerfutter (ohne Silomais) umgelegt wurde. Die Prämie beträgt bundeseinheitlich 353 €/ha. Die bisher gezahlten Rinderprämien sowie die im Rahmen der Agenda 2000 vorgesehenen Milchprämien entfallen.

Für den Quotenausstieg in 2008 zeichnet sich nach den Ergebnissen des Marktmodells in der EU ein im Vergleich zu 1997 um 25 % niedrigerer Milchpreis ab.[2]

3 Ergebnisse

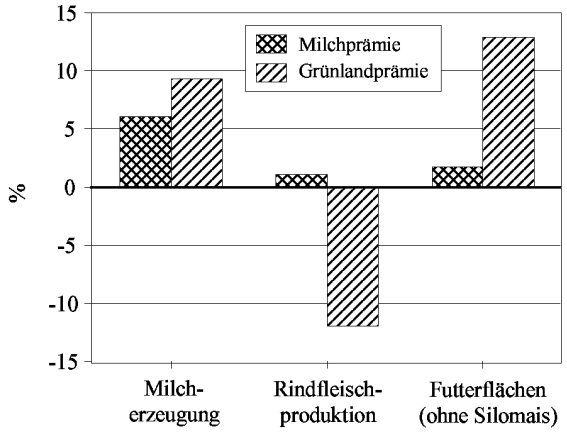
Die in den folgenden Abschnitten dargestellten Ergebnisse basieren auf verschiedenen, interaktiv eingesetzten Modellen. Die Modelle sind auf unterschiedliche Untersuchungsgegenstände ausgerichtet und ergänzen sich gegenseitig.

3.1 Angebotswirkungen

Nach den Modellergebnissen sind durch den Ausstieg aus der Milchquotenregelung folgende **Angebotseffekte** zu erwarten (Abbildung 1):

- Nach den betrieblichen Modellrechnungen ist in Deutschland mit einer Ausdehnung der Milcherzeugung zu rechnen. Die Angebotssteigerung beträgt im Szenario Milchprämien 7 %, und fällt im Szenario Grünlandprämien mit ca. 10 % etwas höher aus. Die Milcherzeugung verlagert sich stärker auf die kostengünstigsten Standorte. Betriebe mit kleinen Bestandsgrößen schränken die Milcherzeugung bei stärkerem Preisdruck ein. Die Vollkosten der Milcherzeugung können nicht in jedem Fall gedeckt werden, so dass auch Großbetriebe mit hohem Anteil an Lohnarbeitskräften und Flächenzupacht Produktionseinschränkungen vornehmen.
- Bei Milchprämien entwickelt sich die Rindfleischerzeugung weitgehend entsprechend des Koppelproduktes „Kuhfleisch“. Bei Umwidmung der gesamten Rinder- und Milchprämien in Grünlandprämien sind stärkere Einschränkungen der Rindfleischerzeugung, insbesondere der Bullenmast, zu erwarten.
- Vor allem bei Grünlandprämien nimmt der Umfang der Grünland- und Ackerfutterflächennutzung zu.

Die Umwidmung der Tierprämien in eine Grünlandprämie erhöht die relative Vorzüglichkeit der Milchproduktion gegenüber den anderen Verfahren der Rinderproduktion.



Quelle: FARMIS, eigene Berechnungen auf Basis von BMVEL-Testbetrieben, Offermann/Bertelsmeier FAL-BAL.

Abbildung 1
Sektorale Angebotseffekte

[2] Da die Entwicklung des Milchpreises mit vergleichsweise hohen Unsicherheiten behaftet ist und gleichzeitig einen großen Einfluss auf die Ergebnisse besitzt, sind alternativ Rechnungen mit Milchpreissenkungen von 22 % bzw. 30 % durchgeführt worden. Vergleiche Kleinhanß et al. (2001).

Eine Differenzierung der Ergebnisse offenbart große Unterschiede in den Wirkungen zwischen den Betrieben und Regionen. Die Möglichkeiten einer Ausdehnung der Milchproduktion hängen eng mit der Zahl der Kühe in der Ausgangssituation zusammen. Besonders die mittleren bis großen Betriebe profitieren von der Aufhebung der Mengenbegrenzung. Dies sind vor allem Familienunternehmen aus den alten Bundesländern, die bei hohen Milchleistungen und niedrigen Kosten über einen hohen Anteil an nicht entlohnten Arbeitskräften und Eigentumsfläche verfügen. Gerade diese Betriebe werden durch die Milchquotenregelung in ihrem Wachstum gegenwärtig stark behindert. Bis zu 5 % der Betriebe stellen die Milcherzeugung ein. Hierbei handelt es sich um Betriebe mit niedriger Milchleistung, aber auch um größere Betriebe mit einem hohem Anteil an Fremdarbeitskräften und Zupachtflächen.

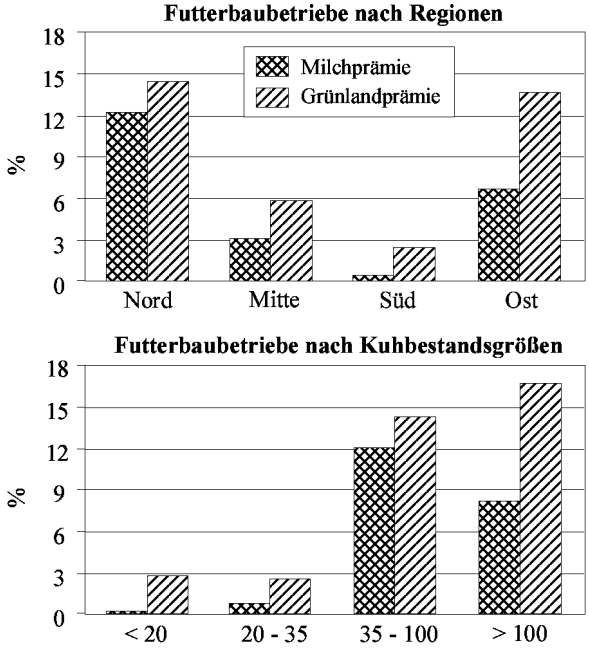
Abbildung 2 zeigt die Angebotswirkungen eines Milchquotenausstiegs in verschiedenen Regionen. In den nördlichen Bundesländern, die einen Anteil an der gesamtdeutschen Milchproduktion von 37 % haben, deuten Angebotssteigerungen von bis zu 18 % auf einen Wettbewerbsvorteil hin. Dies kann auf überdurchschnittlich hohe Milchleistungen sowie günstige Standorteigenschaften zurückgeführt werden. In den Regionen Mitte und Süd zeichnen sich dagegen nur geringe Angebotsreaktionen ab. In den neuen Bundesländern wird die Milchproduktion in den untersuchten Szenarien ebenfalls überdurchschnittlich ausgedehnt. Besonders große Bestandsstrukturen wirken sich hier vorteilhaft auf die Wettbewerbsfähigkeit aus. Die deutlich höheren Angebotseffekte im Szenario Grünlandprämie im Vergleich zum Szenario Milchprämien in der Region Mitte und den neuen Bundesländern sind auf das günstige Verhältnis zwischen Grünland und Milchproduktion zurückzuführen.

Insbesondere im Hinblick auf die hier ausgewiesene geringe Ausdehnung in den südlichen Bundesländern ist einschränkend hinzuzufügen, dass die ausgewiesenen Ergebnisse für einen mittel- bis langfristigen Planungshorizont gelten. Bei kurzfristiger Betrachtung ist auch in diesen Regionen bei Aufhebung der Quotenregelung mit einer Angebotsausdehnung zu rechnen.

3.2 Einkommenseffekte

Einkommenseffekte ergeben sich aus der Kombination von Milchpreissenkung, den Kompensationszahlungen sowie den betrieblichen Anpassungen in der Produktion. Bei der Berechnung der Einkommenswirkungen ist zu berücksichtigen, dass im Vergleich zur Referenz keine Kosten für die Pacht bzw. den Kauf von Quoten anfallen. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht stellen die von den Milchproduzenten aufzuwendenden Quotenkosten gleichzeitig das Einkommen der Quotenverpächter dar, und somit heben sich sektoral die Ausgaben und Einnahmen aus dem Quotentransfer auf. Aus Sicht der Produzenten ist das Entfallen von Quotenkosten jedoch eines der zentralen Argumente für einen Quotenausstieg. Die Darstellung der Einkommenswirkungen erfolgt daher in zwei Schritten:

- Zunächst werden die Einkommenseffekte ohne Berücksichtigung einsparbarer Quotenkosten dargestellt, d. h., es wird ein weites Sektorkonzept verwendet, bei dem die Verpächter dem Agrarsektor zugerechnet werden.[3] Als Einkommensindikator dient die Nettowertschöpfung zu Faktorkosten (NWSF).



Quelle: FARMIS, eigene Berechnungen auf Basis von BMVEL-Testbetrieben, Offermann/Bertelsmeier FAL-BAL.

Abbildung 2
Änderung der Milcherzeugung nach Regionen und nach Bestandsgrößen

- Für aktive Erzeuger sind die Einkommenswirkungen unter Berücksichtigung der Entlastung durch entfallende Quotenkosten abgeschätzt worden. Da nur wenig belastbare Daten zum einzelbetrieblichen Anteil der Pacht- bzw. Kaufquoten sowie der Entwicklung der Quotenpreise bis zum Jahr 2008 verfügbar waren, sind

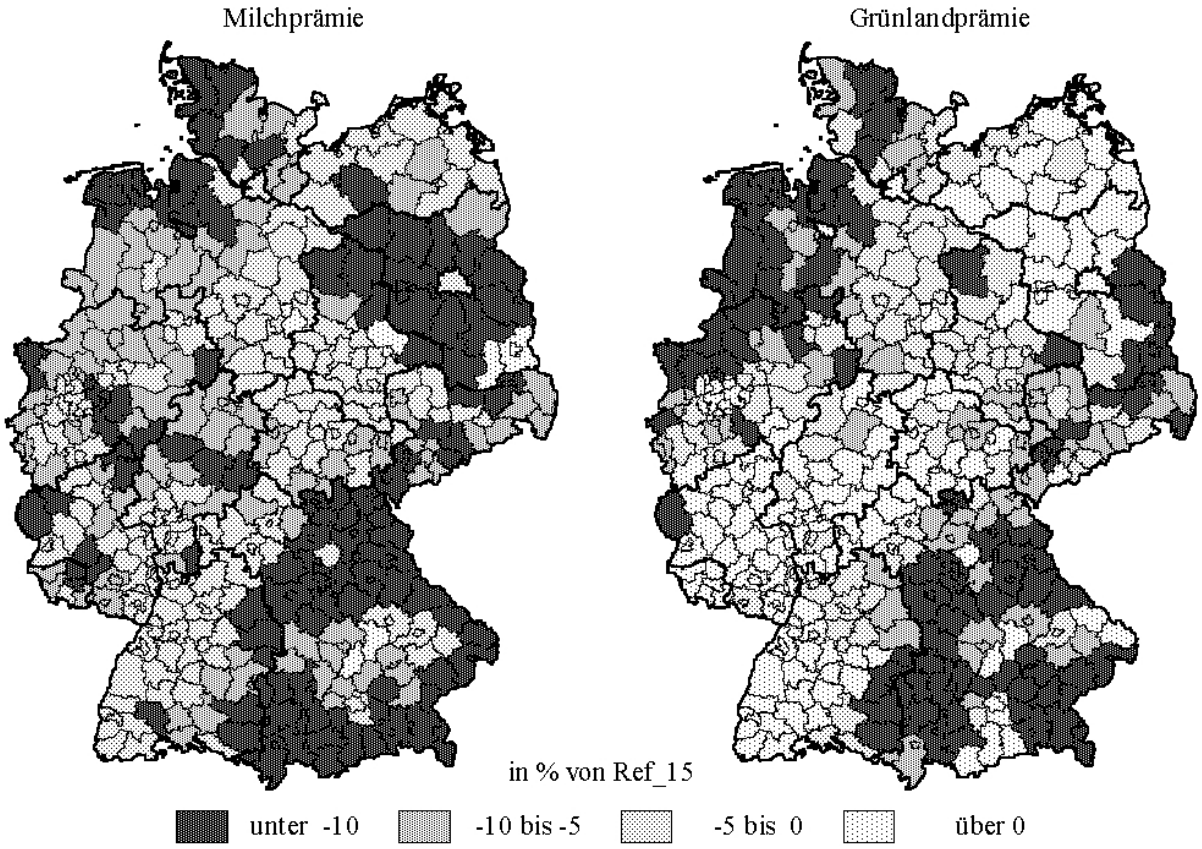
[3] Zumindest teilweise handelt es sich bei den Quotenverpächtern um Landwirte, die zwar die Milchproduktion aufgegeben haben, jedoch weiter einen landwirtschaftlichen Betrieb führen.

diese Größen mit Hilfe von zusätzlichen Modellrechnungen abgeschätzt worden.

3.2.1 Einkommenswirkungen ohne Berücksichtigung von Quotenkosten

Sektoral geht die Nettowertschöpfung um ca. 7 bis 8 % zurück. Die Höhe der relativen Einkommensverluste hängt dabei stark von der Ausgangssituation der Betriebe ab. So werden von der Abschaffung der Milchquote insbesondere Betriebe, die schon in der Ausgangssituation ihre Vollkosten nicht decken können, besonders betroffen. Die Analyse typischer Betriebe hat gezeigt, dass das Überleben dieser Betriebe ganz entscheidend von ihren Liquiditätsreserven, der konsequenten Ausnutzung der Managementpotenziale und der Umsetzung betrieblich angepasster Wachstumsstrategien abhängt. Bei der Schichtung nach Größenklassen ist sehr deutlich zu sehen, dass die relativen Einkommensverluste in Betrieben mit kleinen Kuhbeständen in der Ausgangssituation am höchsten ausfallen.

Die beiden untersuchten Prämiensysteme weisen deutliche Unterschiede in ihren regionalen Einkommenswirkungen auf (Karte 1). Im Szenario „Milchprämie“ werden die regionalen Einkommenswirkungen von der Bedeutung der Milchproduktion für die gesamte regionale landwirtschaftliche Wertschöpfung bestimmt. Vergleichsweise stark betroffen sind daher Bayern mit Ausnahme der Lössgebiete, Mittelgebirgsregionen, das Sauerland sowie die Marschgebiete. Im Szenario „Grünlandprämie“ hingegen profitieren Regionen, in denen im Verhältnis zur Milchproduktion viel Grünland vorhanden ist. Dies sind vor allem die neuen Bundesländer, die Mittelgebirgsregionen und der Schwarzwald. Bei Einheitsprämien für Grünland sind Einkommenseinbußen vor allem in den Regionen zu erwarten, in denen die intensive Bullenmast eine große Rolle spielt, also insbesondere in Bayern und Nordwestdeutschland.



Quelle: RAUMIS, Osterburg FAL-BAL

Karte 1
Regionale Entwicklung der Einkommen (Nettowertschöpfung zu Faktorkosten)

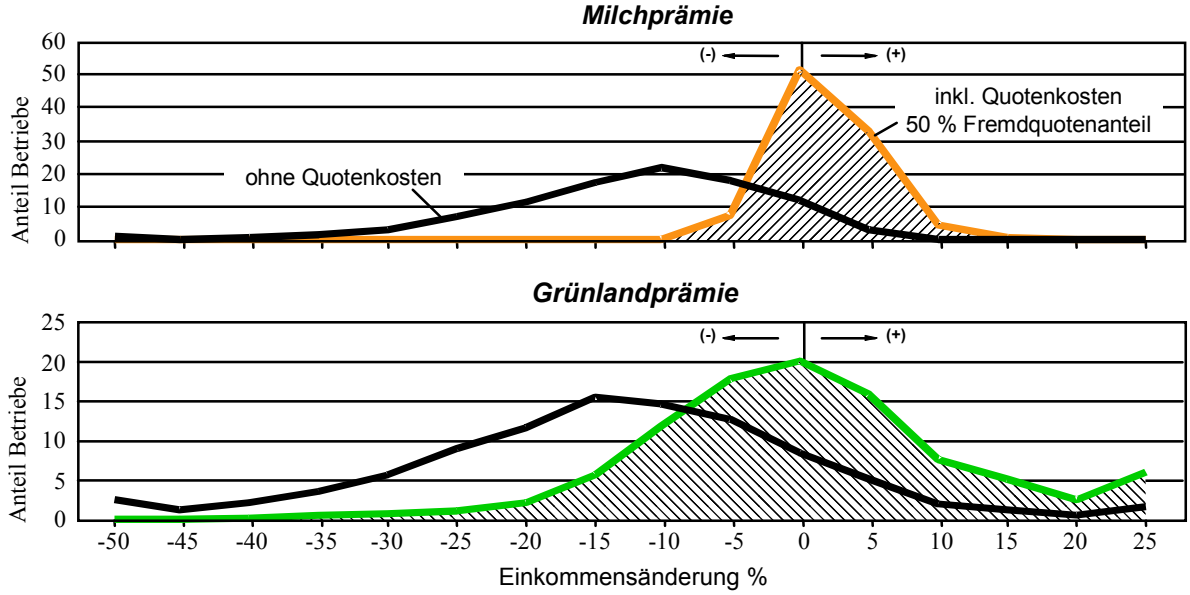
Festhalten lässt sich, dass die einheitliche Grünlandprämie zu starken Verteilungseffekten führt. Ob eine bundeseinheitliche Grünlandprämie in dieser Form politisch durchsetzbar ist, ist angesichts des zu erwartenden Widerstands der betroffenen Bundesländer eher fraglich. Möglich wäre eine regionale Differenzierung der Prämie, wobei allerdings zu bedenken ist, dass Umverteilungen zwischen unterschiedlich strukturierten Betrieben innerhalb der Regionen weiterhin auftreten werden.

3.2.2 Einkommenswirkungen bei Berücksichtigung von Quotenkosten

Die Entlastung der Betriebe durch den Wegfall der Quotenregelung ist sowohl vom Quotenpreis als auch vom betriebsindividuellen Anteil der Fremdquote abhängig. Der Quotenpreis ist mit Hilfe von Modellrechnungen aus dem Gleichgewichtspreis für Quotenpacht im Jahr 2008 mit 0,05 Cent bestimmt worden. Die Berechnungen zeigen, dass einschließlich einsparbarer Quotenkosten je nach Milchpreisentwicklung bei Fremdquotenanteilen von 20 bis 50 % positive Einkommenseffekte zu erwarten sind. Die Verteilung der Einkommenseffekte ist in Abbildung 3 dargestellt. Ohne Berücksichtigung von Quotenkosten ist eine große Streubreite der betrieblichen Einkommensänderungen festzustellen. Der Anteil der Verlierer ist größer als der Anteil der Betriebe mit positiven Einkommenseffekten. Unter Berücksichtigung einsparbarer Quotenkosten (Fremdquotenanteil 50 %) verändert sich die Einkommensverteilung wie folgt:

- Bei Milchprämien verengt sich die Verteilungskurve und verschiebt sich stark zugunsten positiver Einkommenseffekte → die Zahl der Gewinner ist größer als die der Verlierer.
- Bei Grünlandprämien verschiebt sich die Verteilungskurve zwar auch nach rechts, sie verengt sich jedoch weniger stark. Gewinner und Verlierer halten sich in etwa die Waage. Grünlandprämien führen deshalb zu weit stärkeren Verteilungseffekten bei den Einkommen.

Einkommenseinbußen haben jene Betriebe zu erwarten, die bisher Nutzen aus dem Verkauf oder der Verpachtung der Quote zogen.



Quelle: BEMO, Kleinhanß FAL-BAL (2001).

Abbildung 3
Verteilung der Einkommenseffekte mit/ohne Quotenkosten

Fazit

Der Ausstieg aus der Milchquotenregelung scheint möglich, wenn die Rahmenbedingungen richtig gesetzt werden. Hierzu gehören insbesondere eine frühzeitige Ankündigung und Vorbereitung des Ausstieges durch Fortführung bzw. Modifizierung der Milchmarktreform der Agenda 2000. Wichtig ist dabei eine weitgehende Entwertung der Milchquote durch eine Stützpreissenkung sowie die möglichst produktionsneutrale Ausgestaltung der Transferzahlungen.

Der Ausgang der Diskussion über die Zukunft der Milchmarktordnung ist offen: Während im letzten Jahr mehrere EU-Staaten für einen Ausstieg aus der Quotenregelung plädierten, so ist das Interesse derzeit angesichts hoher Milchpreise und wichtigen anderen Problemfeldern der Agrarpolitik (z. B. Osterweiterung der EU) gering. In Deutschland haben mit der Einführung der Milchquotenbörse eine Reihe von Betrieben Quote durch Kauf erworben - für diese Betriebe ist damit die Vorteilhaftigkeit eines Quotenausstiegs gesunken. Bei der Diskussion sollte jedoch nicht vergessen werden, dass der Strukturwandel in der Milchproduktion weiter gehen wird. Für wachstumswillige Betriebe fallen daher entsprechende Kosten für die Ausdehnung der Quote an, und es besteht die Gefahr, dass sich die Quotenrente in den Milch erzeugenden Betrieben zunehmend zu einem reinen Durchlaufposten entwickelt.

Literaturverzeichnis

Kleinhanß W, Manegold D, Bertelsmeier M, Deeken E, Giffhorn E, Jägersberg P, Offermann F, Osterburg B, Salamon P (2001): Mögliche Auswirkungen eines Ausstiegs aus der Milchquotenregelung für die deutsche Landwirtschaft. Arbeitsbericht 5/2001 des Instituts für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume, Braunschweig

Lieferbare Sonderhefte / Following special issues are available:

	Jahr 2000	€
208	Ingo Hagel Differenzierung und Charakterisierung von Weizen verschiedener Anbausysteme und Sorten durch Proteinfraktionierung	7,00
210	Ursula Pultke Freilanduntersuchungen zum Schwefelhaushalt eines Agrarökosystems mittels Analyse stabiler S-Isotope	7,00
212	Franz Ellendorff und Hartmut Stützel (Herausgeber) Workshop "Nachhaltige Landwirtschaft" vom 31.05. – 02.06.1999	10,00
213	Ulrich Dämmgen (Herausgeber) Versauernde und eutrophierende Luftverschmutzung in Nordost-Brandenburg	7,00
214	Ulf Prüße Entwicklung, Charakterisierung und Einsatz von Edelmetallkatalysatoren zur Nitratreduktion mit Wasserstoff und Ameisensäure sowie des Stahlschneideverfahrens zur Herstellung Polivinylalkohol-verkapselter Katalysatoren	10,00
215	Torsten Hemme Ein Konzept zur international vergleichenden Analyse von Politik- und Technikfolgen in der Landwirtschaft	15,00
216	Sven Dänicke und Elisabeth Oldenburg (Herausgeber) Risikofaktoren für die Fusariumtoxinbildung in Futtermitteln und Vermeidungsstrategien bei der Futtermittelerzeugung und Fütterung	7,00
218	Luit J. de Kok, Dieter Grill, Malcom J. Hawkesford, Ewald Schnug and Ineke Stulen (Editors) Plant Sulfur Research in Europe, Cost Action 829 Fundamental, Agronomical and Environmental Aspects of Sulfur Nutrition and Assimilation in Plants	7,00
219	Carsten in der Wiesche Untersuchungen zur Sanierung PAK-kontaminierter Böden mit Weißfäulepilzen	7,00
220	Ingo Hagel Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf Ertrag und Qualität von Weizen schwefelmangel-gefährdeter Standorte des Ökologischen Landbaus	7,00
221	Franz-Josef Bockisch (Herausgeber) Beurteilung der raumklimatischen Wirkungen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen	7,00
	Jahr 2001	
222	Margret Lahmann Prognose der Nachfrage nach Milch und Milcherzeugnissen in Deutschland und Frankreich bis zum Jahre 2005	12,00
223	Josef Kamphues und Gerhard Flachowsky (Herausgeber) Tierernährung – Ressourcen und neue Aufgaben	17,00
226	Jörg Hartung and Christopher M. Wathes (Editors) Livestock Farming and the Environment	7,00
229	Volker Moennig and Alex B. Thiermann (Editors) Safeguarding Animal Health in Global Trade	7,00
230	Nežika Petrič Pränatale Regulation der sexuellen Differenzierung von Luteinisierungshormon und Wachstumshormon, Genexpression und Sekretion beim Schwein	7,00
231	Bernhard Osterburg und Hiltrud Nieberg (Herausgeber) Agrarumweltprogramme – Konzepte, Entwicklungen, künftige Ausgestaltung	7,00

	Jahr 2002	€
225	Hans-Wilhelm Windhorst and Aalt A. Dijkhuizen (Editors) Product Safety and Quality Assurance	7,00
227	Franz Ellendorff, Volker Moennig, Jan Ladewig and Lorne Babiuk (Editors) Animal Welfare and Animal Health	7,00
228	Eildert Groeneveld and Peter Glodek (Editors) Animal Breeding and Animal Genetic Resources	7,00
232	Kerstin Panten Ein Beitrag zur Fernerkundung der räumlichen Variabilität von Boden- und Bestandesmerkmalen	7,00
233	Jürgen Krahl Rapsölmethylester in dieselmotorischer Verbrennung – Emissionen, Umwelteffekte, Optimierungspotenziale -	10,00
234	Roger J. Wilkins and Christian Paul (Editors) Legume Silages for Animal Production - LEGSIL	7,00
235	Torsten Hinz, Birgit Rönnpagel and Stefan Linke (Editors) Particulate Matter in and from Agriculture	7,00
236	Mohamed A. Yaseen A Molecular Biological Study of the Preimplantation Expression of Insulin-Like Growth Factor Genes and their Receptors in *In Vitro* Produced Bovine Embryos to Improve *In Vitro* Culture Systems and Embryo Quality	8,00
237	Mohamed Ali Mahmoud Hussein Kandil The effect of fertilizers for conventional and organic farming on yield and oil quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in Egypt	7,00
238	Mohamed Abd El-Rehim Abd El-Aziz Hassan Environmental studies on coastal zone soils of the north Sinai peninsula (Egypt) using remote sensing techniques	7,00
239	Axel Munack und Jürgen Krahl (Herausgeber) Biodiesel – Potenziale, Umweltwirkungen, Praxiserfahrungen -	7,00
240	Sylvia Kratz Nährstoffbilanzen konventioneller und ökologischer Broilerproduktion unter besonderer Berücksichtigung der Belastung von Böden in Grünausläufen	7,00
241	Ulf Prüße and Klaus-Dieter Vorlop (Editors) Practical Aspects of Encapsulation Technologies	9,00
242	Folkhard Isermeyer (Editor) Milchproduktion 2025	9,00